

# Max-Planck-Institut für Astronomie Heidelberg-Königstuhl



## Jahresbericht

## 2008



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

**Zum Titelbild:**

Die Spiralgalaxie Messier 83 erscheint im sichtbaren Licht als scharf begrenztes, nahezu kreisförmiges Gebilde. Aber auf dieser tiefen, vom Satelliten GALEX gewonnenen Aufnahme im nahen und fernen Ultraviolett (grün und blau kodiert) zeigen sich auch weit außerhalb der eigentlichen Galaxie zahlreiche junge Sterne, die dort erst kürzlich entstanden sind. Eine Kartierung der Radiostrahlung des atomaren Wasserstoffs (rot kodiert) offenbart, dass dafür auch die nötige diffuse Materie zur Verfügung steht – vermutlich infolge der Auflösung einer oder mehrerer Zwerggalaxien im Gravitationsfeld von M 83.

Bild: Frank Bigiel, Fabian Walter, NASA/JPL-Caltech/VLA/MPIA

# Max-Planck-Institut für Astronomie

Heidelberg-Königstuhl

## Jahresbericht

## 2008



## Max-Planck-Institut für Astronomie

### *Wissenschaftliche Mitglieder, Kollegium, Direktoren:*

Prof. Hans-Walter Rix (Geschäftsführender Direktor)  
Prof. Thomas Henning

<i>Wissenschaftlicher Referent:</i>	Dr. Klaus Jäger	(Telefon: 0049 6221 528 379)
<i>Öffentlichkeitsarbeit (Leitung):</i>	Dr. Jakob Staude	(Telefon: 0049 6221 528 229)
<i>Verwaltung (Leitung):</i>	Mathias Voss	(Telefon: 0049 6221 528 230)

### *Emeritierte wissenschaftliche Mitglieder:*

Prof. Immo Appenzeller Prof. Guido Münch

### *Auswärtige wissenschaftliche Mitglieder:*

Prof. Steven V. W. Beckwith, Baltimore	Prof. George H. Herbig, Honolulu
Prof. Willy Benz, Bern	Prof. Rafael Rebolo, Teneriffa
Prof. Karl-Heinz Böhm, Seattle	

### *Fachbeirat:*

Prof. Robert Williams, Baltimore (Vorsitz)	Prof. Dieter Reimers, Hamburg
Prof. Ralf-Jürgen Dettmar, Bochum	Prof. Anneila I. Sargent, Pasadena
Prof. Ewine van Dishoeck, Leiden	Prof. Rens Waters, Amsterdam
Prof. Pierre Léna, Meudon	Prof. Lodewijk Woltjer, St-Michel-l'Obs.
Prof. Rolf-Peter Kudritzki, Honolulu	Prof. Harold Yorke, Pasadena

### *Kuratorium:*

MinDirig. i.R. Dr. Hermann-Friedrich Wagner, Bonn (Vorsitz)	Dr. Karl A. Lamers, MdB, Berlin
Dr. Ludwig Baumgarten, Bonn	Prof. Roland Sauerbrey, Dresden
Prof. Bernhard Eitel, Heidelberg	Dr. h.c. Klaus Tschira, Heidelberg
Dr. Michael Kaschke, Oberkochen	Prof. Andreas Tünnermann, Jena
MinDirig. Dr. Heribert Knorr, Stuttgart	Dipl.-Phys. Ranga Yogeshwar, Köln

### *Mitarbeiter:*

Gegenwärtig sind 263 Mitarbeiter (einschließlich der Drittmittelbeschäftigten) am Institut tätig, darunter 176 Wissenschaftler, davon 34 Nachwuchswissenschaftler und 72 Doktoranden.

<i>Anschrift:</i>	MPI für Astronomie, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg	
<i>Telefon:</i>	0049 6221 5280	<i>Fax:</i> 0049 6221 528 246
<i>E-mail:</i>	sekretariat@mpia.de	<i>Internet:</i> www.mpia.de

### **Calar-Alto-Observatorium**

<i>Anschrift:</i>	Centro Astronómico Hispano Alemán, Calle Jesús Durbán 2/2, E-04004 Almería	
<i>Telefon:</i>	0034 950 230 988, 0034 950 632 500	<i>Fax:</i> 0034 950 632 504
<i>E-mail:</i>	info@caha.es	<i>Internet:</i> www.caha.es

### **Arbeitsgruppe »Laboratorastrophysik«, Jena**

<i>Anschrift:</i>	Institut für Festkörperphysik der FSU, Helmholtzweg 3, D-07743 Jena	
<i>Telefon:</i>	0049 3641 947 354	<i>Fax:</i> 0049 3641 947 308
<i>E-mail:</i>	friedrich.huisken@uni-jena.de	

© 2009 Max-Planck-Institut für Astronomie, Heidelberg

*Herausgeber:* Jakob Staude, Thomas Henning, Hans-Walter Rix, Klaus Jäger, Axel M. Quetz

*Text:* Thomas Bürke und andere *Bilder:* MPIA und andere

*Übersetzung:* Baker & Harrison, München

*Graphik, Bildbearbeitung und Layout:* Karin Meißner, Carmen Müllerthann

*Druck:* dmv Druck-Medienverlag GmbH, D-06188 Halle-Queis

ISSN 1437-2924; Internet: ISSN 1617-0490

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>5</b>	<b>IV.2 Instrumente für ESO</b> .....	<b>95</b>
		PRIMA und SPHERE .....	95
		MATISSE und GRAVITY .....	100
		ASTRALUX-Sur .....	102
<b>I. Allgemeines</b> .....	<b>6</b>	<b>IV.3 PANIC – Nahinfrarot-Weitfeld-Kamera</b>	
I.1 Wissenschaftliche Zielsetzung .....	6	für den Calar Alto .....	104
I.2 Observatorien – Teleskope – Instrumente .....	10	<b>IV.4 Phase-A-Studien für das E-ELT</b> .....	<b>107</b>
I.3 Nationale und Internationale Zusammenarbeit ...	17	METIS .....	107
I.4 Lehre und Öffentlichkeitsarbeit. Das neue		MICADO .....	109
»Haus der Astronomie« .....	21	<b>IV.5 LAIWO – der Large Area Imager</b>	
		für das Wise Observatorium .....	110
<b>II. Highlights</b> .....	<b>23</b>	<b>IV.6 Instrumente für Weltraumobservatorien</b> .....	<b>111</b>
II.1 Zwei Supernovae nach ihrem Aufleuchten		PACS .....	111
»posthum« beobachtet.....	23	MIRI und NIRSPEC .....	112
II.2 Doppelte Braune Zwerge		Die »Cosmic Vision«-Missionen der Esa .....	114
– eine spektroskopische Studie .....	30	<b>IV.7 Durchmusterungsprojekte</b> .....	<b>116</b>
II.3 Die Dynamik der Sternentstehung in NGC 346 ...	35	PanSTARRS 1 .....	116
II.4 Kelu-1 – ein Doppel- oder Dreifachsystem		GAIA .....	118
von Braunen Zwergen .....	40	HAT-South .....	122
II.5 Die Milchstraße – gewogen und			
für leichter befunden .....	44	<b>V. Menschen und Ereignisse</b> .....	<b>124</b>
II.6 Der ungewöhnliche Vorläuferstern der		V.1 Veranstaltungen und PR-Aktivitäten .....	124
Supernova 2008S .....	47	V.2 Zwei internationale Konferenzen .....	126
II.7 Hyper-Sternentstehung 870 Millionen Jahre		V.3 Preise und Stipendien .....	128
nach dem Urknall .....	51	V.4 Ein Gespräch mit Klaus Tschira .....	132
II.8 Einzigartige Galaxienportraits mit THINGS .....	54	V.5 Ein Gespräch mit Rolf Kudritzki .....	135
<b>III. Ausgewählte Forschungsgebiete</b> .....	<b>59</b>	<b>Personal</b> .....	<b>138</b>
III.1 Rotation und Akkretionsscheiben		<b>Arbeitsgruppen</b> .....	<b>140</b>
in der massereichen Sternentstehung .....	59	<b>Lehrveranstaltungen</b> .....	<b>141</b>
III.2 Quo vadis Jupiter? – Planeten auf der Flucht ...	68	<b>Mitarbeit in Gremien</b> .....	<b>141</b>
III.3 Blick in die Zentren naher aktiver Galaxien ...	75	<b>Weitere Aktivitäten am Institut</b> .....	<b>142</b>
III.4 Die leuchtschwächsten Galaxien .....	83	<b>Preise</b> .....	<b>143</b>
		<b>Vereinbarkeit von Wissenschaft, Beruf und Familie ...</b>	<b>143</b>
<b>IV. Instrumente und Projekte</b> .....	<b>89</b>	<b>Zusammenarbeit mit Firmen</b> .....	<b>144</b>
IV.1 Instrumente und Projekte für das LBT .....	89	<b>Tagungen, Vorträge</b> .....	<b>148</b>
LUCIFER 1 und 2 .....	89	<b>Veröffentlichungen</b> .....	<b>156</b>
LINC-NIRVANA .....	90		
ARGOS .....	91		
Charakterisierung des LBT .....	92		



## Vorwort

In diesem Jahresbericht werden die wissenschaftlichen Aktivitäten des Heidelberger Max-Planck-Instituts für Astronomie (MPIA) beschrieben. Er richtet sich sowohl an unsere Kollegen weltweit, als auch an das interessierte Publikum.

Das Jahr 2008 hat auf Gebieten, die von der Struktur des Kosmos bis zu den Exoplaneten reichen, eine Fülle wissenschaftlicher Ergebnisse gebracht.

Es gab auch sehr gute, stetige Fortschritte in der Entwicklung zukunftsweisender neuer Einrichtungen und Instrumente. Mit den Arbeiten am LBT, einschließlich der ersten Beobachtungen mit dem neuen Infrarot-Instrument LUCIFER, an den VLT- und VLTI-Instrumenten der zweiten Generation und an der Instrumentierung des JWST wurden Grundlagen für zukünftige astronomische Entdeckungen geschaffen. Es wurden auch erste Studien zur Instrumentierung des European Extremely Large Telescope (E-ELT) in Angriff genommen.

Die Entscheidung, das »Haus der Astronomie«, ein neues Zentrum für Bildung und Kommunikation, auf dem Königstuhl zu errichten, war ein besonderer Höhepunkt des Jahres 2008.

Zusätzlich zu den kurzen Darstellungen einer Vielfalt laufender wissenschaftlicher Ergebnisse berichten wir ausführlicher über wenige, ausgewählte Forschungsfelder am Institut.

Wir hoffen, den Lesern dieses Jahresberichts ein Bild von der Forschung und der Arbeit am MPIA zu vermitteln.

*Thomas Henning, Hans-Walter Rix*

Heidelberg, im August 2009

# I. Allgemeines

## I.1 Wissenschaftliche Zielsetzung

**Die Arbeit des Max-Planck-Instituts für Astronomie (Abb. I.1) dient dem Ziel, die Natur und Entwicklung der Planeten, Sterne, Galaxien und des Universums als Ganzes zu erforschen und zu verstehen. Dieses Ziel verfolgen wir mit der Entwicklung und dem Einsatz von Teleskopen und Messinstrumenten, mit der Planung und Ausführung vielfältiger Beobachtungsprogramme, sowie mit der physikalischen Analyse und theoretischen Modellierung der beobachteten Phänomene. Das MPIA konzentriert seine Beobachtungen auf den optischen und infraroten Spektralbereich und ist führend in der instrumentellen Entwicklung sowohl für bodengebundene als auch für weltraumgestützte Observatorien.**

Die Forschung am Institut ist in zwei wissenschaftlichen Abteilungen organisiert: Galaxien und Kosmologie, sowie Planeten- und Sternentstehung. Zusätzlich zu den fest angestellten Mitarbeitern in diesen Abteilungen bestehen acht selbstständige Nachwuchsgruppen – vier von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanzierte Emmy-Noether-Gruppen und vier Nachwuchsgruppen der Max-Planck-Gesellschaft. Im Berichtsjahr waren insgesamt 50 Post-Docs und Gastwissenschaftler sowie 88 Doktoranden und 26 Diplom- und Master-Studenten am Institut tätig. Es besteht auch eine enge Zusammenarbeit in Forschung und Lehre mit dem neuen Zentrum für Astronomie an der Universität Heidelberg (ZAH), zum Beispiel im Rahmen der International Max Planck Research School (IMPRS) for Astronomy and Cosmic Physics.

**Abb. I.1:** Luftaufnahme des MPIA.



Die Hauptarbeitsgebiete beider Abteilungen haben zahlreiche wissenschaftliche und praktische Aspekte gemeinsam. Offensichtlich ist die Sternentstehung mit der Entstehung und Entwicklung der Galaxien eng verknüpft. Aber auch die Anforderungen an die Messinstrumente sind in beiden Abteilungen sehr ähnlich, etwa in Bezug auf die benötigte hohe räumliche Auflösung oder auf den hohen Stellenwert umfassender Durchmusterungen und der Beobachtungsmöglichkeiten im infraroten Spektralbereich.

## Galaxien und Kosmologie

### Das Reich der Galaxien

Wir wissen, dass das Universum gleich nach dem Urknall recht »einfach« und nahezu homogen aufgebaut war, während es heute innerhalb eines weiten Bereiches physikalischer Größenordnungen mit einer reichhaltigen hierarchischen Struktur aufwartet: von der filamentartigen Anordnung der Galaxien über sehr große Entfernungen hinweg (dem »kosmischen Netz«) bis herab zu den einzelnen Galaxien, den Sternhaufen, den Sternen und deren Planeten. Die Bildung dieser reichhaltigen Strukturen lässt sich allerdings nur verstehen, wenn man annimmt, dass sie durch Gravitationsinstabilitäten angetrieben wird, die in einer dominanten, aber bis heute noch nicht identifizierten »Dunklen Materie« auftreten.

Die Galaxien, so wie wir sie im heutigen Universum sehen, stellen in dieser hierarchischen Ordnung eine mittlere Ebene dar und bestehen aus Millionen bis Milliarden von Sternen, sowie aus interstellarem Gas und Staub, eingebettet in Halos aus Dunkler Materie. Wie Edwin HUBBLE schon vor 70 Jahren feststellte, zeigen diese »Welteninseln« in ihrem Erscheinungsbild und in ihrer Struktur bei Weitem nicht die Vielfalt, die zunächst physikalisch möglich erscheint. Einerseits scheint die Vielfalt der Galaxien groß zu sein, denn als Objektklasse umspannen sie zehn Größenordnungen in ihren stellaren Massen, und die Zahl der neu entstehenden Sterne variiert in der gleichen Breite; die physischen Größen verschiedener Galaxien variieren immerhin um einen Faktor 100; während einige Galaxien in ihrem Zentrum offenbar kein Schwarzes Loch besitzen, beträgt die Masse dieses zentralen Schwarzen Loches bei anderen Galaxien mehr als eine Milliarde Sonnenmassen. Andererseits haben gerade die Beobachtungen der letzten 15 Jahre gezeigt, dass nur ein winziger Bruchteil der denkbaren Kombinationen der charakteristischen Größen (Masse und Alter der Sterne, Größe, zentrales Schwarzes Loch, usw.) tatsächlich im Universum verwirklicht sind. Praktisch alle Größen korrelieren stark miteinander: Massereiche Galaxien sind groß; massereiche Galaxien enthalten praktisch keine jungen Sterne; das zentrale Schwarze Loch enthält einen konstanten

Massenbruchteil der zehn Millionen Mal größeren sphärischen Sternverteilung. Während Spiralgalaxien unter den größeren Galaxien der häufigste Galaxientyp sind, kommen sie unter den massereichsten Sternsystemen nicht vor.

Das bedeutet: Das »Reich der Galaxien« (»the realm of galaxies«, wie Edwin Hubble es genannt hat) ist in hohem Maße geordnet. Wie diese Ordnung aus den Zufallsfluktuationen nach dem Urknall entstanden ist, ist die Grundfrage der Galaxienentwicklung und eine zentrale Frage der Kosmologie.

Grundsätzlich gibt es drei Möglichkeiten, die so eingeschränkte Vielfalt der Galaxien zu erklären:

1. Die beobachteten Galaxien stellen die einzig stabilen Konfigurationen dar.
2. Die realisierten Parameter der Galaxien ergeben sich unmittelbar aus dem begrenzten Satz kosmologischer Anfangsbedingungen.
3. Der gesamte Prozess der Galaxienentstehung führt aufgrund verschiedener Rückkopplungsprozesse zu einer begrenzten Vielfalt von Ergebnissen.

### Welche Fragen möchten wir beantworten?

Zahlreiche der am MPIA durchgeführten Projekte widmen sich der Frage, welche dieser drei Mechanismen wo eine Rolle spielen. Einige der spezifischen Fragen, die wir in dieser Abteilung bearbeiten, sind:

- Während welcher kosmischen Epoche sind die meisten Sterne entstanden?
- Warum hat die Bildung neuer Sterne seit sechs Milliarden Jahren abgenommen? Erleben wir heute das Ende der kosmischen Sternentstehung?
- Wie sind die Schwarzen Löcher in den Zentren der Galaxien entstanden und gewachsen? Warum kann man aus der gesamten Größe einer Galaxie die Eigenschaften des winzigen Schwarzen Loches in ihrem Zentrum vorhersagen?
- Wann und durch welche Prozesse werden Struktur und Morphologie der Galaxien bestimmt?
- Was ist der Zustand des interstellaren Mediums, des Rohstoffes, aus dem sich neue Sterne bilden?
- Können die vielfältigen Beobachtungen im Rahmen eines umfassenden Modells *ab initio* verstanden werden?
- Wie ist das Milchstraßensystem, der Rosetta-Stein für die Entwicklung der Galaxien, entstanden?

### Was tun wir, um die Antworten zu finden?

Die am MPIA verfolgten Ansätze, um diese Fragen anzugehen, umfassen drei Aspekte: die detaillierte Untersuchung einzelner Galaxien im gegenwärtigen Universum; die direkte Untersuchung von Galaxien in früheren kosmischen Epochen durch die Beobachtung weit

entfernter (hochrotverschobener) Objekte; und den Vergleich von Beobachtungen mit physikalischen Modellen. Die Beobachtungen auf diesem Gebiet erfordern Durchmusterungsteleskope, Teleskope möglichst großer Öffnung (um möglichst viele Photonen der schwächsten Lichtquellen zu sammeln), und interferometrische Techniken, um die höchstmögliche räumliche Auflösung zu erreichen. Für umfassende Studien der Galaxienentwicklung sind Beobachtungen in allen Spektralbereichen, vom Radio- bis hin zum Röntgenbereich, erforderlich.

Das Institut hat sich maßgeblich an mehreren Durchmusterungen beteiligt, die Durchbrüche erbracht haben oder zu erbringen versprechen: der Sloan Digital Sky Survey (SDSS und SEGUE) zur Untersuchung des Milchstraßensystems und der Lokalen Gruppe, sowie dessen jetzt startendes Nachfolgeprojekt PanSTARRS-1, ergänzt durch die im Vorjahr in Betrieb genommenen LBC-Kameras am LBT; die Durchmusterung COMBO-17 zur Entwicklung der Galaxien, durchgeführt mit dem 2,2-m-Teleskop auf La Silla; Folgebeobachtungen zu diesen Durchmusterungsprogrammen am VLT und bald auch am LBT; die beiden Weltraumteleskope SPITZER (mit seinen Instrumenten IRAC und MIPS) und HERSCHEL (mit PACS) dienen zur Untersuchung der Sternentstehung und des Interstellaren Mediums, ergänzt durch das VLA, das Interferometer auf dem Plateau de Bure, APEX und bald auch ALMA im Radio- und Submillimeterwellenbereich. In der Abteilung Galaxien und Kosmologie wird wahrlich Multiwellenlängen-Astrophysik betrieben.

---

## Entstehung von Sternen und Planeten

### Das Verbindungsglied zwischen Sternen und Galaxien

Die Entstehung von Sternen ist ein fundamentaler Prozess im Universum. Sie bestimmt die Struktur und die chemische Zusammensetzung ganzer Galaxien. Die Entstehung einzelner Sterne lässt sich am besten in den nahen Molekülwolken unserer Galaxis studieren. Die Untersuchung der Sternentstehung in anderen Galaxien zeigt uns den Ablauf dieses Prozesses unter Bedingungen, die von denen in unserer Galaxis sehr verschieden sein können. Unsere Untersuchungen in den Magellanschen Wolken zeigen, wie die Häufigkeiten der schweren Elemente (der sogenannten »Metalle«) den Sternentstehungsprozess beeinflussen – dieser Faktor spielte bei der Sternentstehung im frühen Universum gewiss eine bedeutende Rolle.

Sterne entstehen in den dichten und kalten Kernen von Molekülwolken, die gravitationsinstabil werden und im Allgemeinen in Fragmente zerfallen, aus denen Doppel- und Mehrfachsysteme entstehen. In welcher Weise Magnetfelder und Turbulenzen das Einsetzen der Sternentstehung beeinflussen, ist eine der zentra-

len offenen Fragen, die es zu beantworten gilt. Sie hängt direkt mit der unterschiedlichen Form der anfänglichen (sub)stellaren Massenfunktion in unterschiedlichen Umgebungen zusammen. Dynamische Wechselwirkungen in Mehrfachsystemen spielen möglicherweise eine entscheidende Rolle bei der Entstehung Brauner Zwerge. Die Entstehung massereicher Sterne geschieht in Sternhaufen und führt zu komplexen Sternentstehungsgebieten. Die schnelle Entwicklung massereicher Protosterne und die damit verbundenen energiereichen Phänomene erschweren die Identifikation der Entstehungswege massereicher Sterne erheblich.

### Blick hinter den Vorhang ...

Die frühesten Phasen der Sternentstehung sind hinter enormen Mengen von Staub und Gas verborgen und können nur mittels empfindlicher Beobachtungen im fernen Infrarot und im (Sub-) Millimeterwellenbereich untersucht werden. In späteren Entwicklungsstadien leuchten die Objekte im mittleren und nahen Infrarot, und schließlich werden sie im optischen Spektralbereich sichtbar. Deshalb überdecken unsere Beobachtungsprogramme einen weiten Wellenlängenbereich, mit besonderem Schwerpunkt im Infraroten und bei (Sub-)Millimeterwellen.

Die Entstehung von Planeten und Planetensystemen ist ein natürliches Nebenprodukt der Entstehung massereicher Sterne. Aufgrund der Drehimpulserhaltung geschieht die Akkretion von Materie auf den zentralen Protostern hauptsächlich aus einer zirkumstellaren Scheibe. Scheiben um T-Tauri-Sterne sind die natürlichen Geburtsstätten von Planetensystemen, ähnlich dem Sonnensystem vor 4,5 Milliarden Jahren. Während der aktiven Akkretionsphase werden bipolare molekulare Ausflüsse und ionisierte Jets erzeugt, die ihrerseits für die Entwicklung der Stern-Scheiben-Systeme eine wichtige Rolle spielen. Wir beginnen gegenwärtig damit, protoplanetare Scheiben als Labors zu nutzen, in denen wir die Bildung unseres Sonnensystems und der vielfältigen anderen bisher entdeckten Planetensysteme untersuchen können.

Die Forschung der Abteilung Planeten- und Sternentstehung konzentriert sich auf die Entschlüsselung der frühesten Phasen im Leben der Sterne, sowohl am oberen als auch am unteren Ende des Massenspektrums. Beobachtungen mit Hilfe von Weltraumobservatorien wie SPITZER und HST, und demnächst auch mit HERSCHEL, wie auch an erdgebundenen Infrarot- und (Sub-) Millimeter-Teleskopen erlauben den Nachweis und die Charakterisierung massereicher Protosterne und ihrer Entwicklung. Mit der energischen Nutzung der Submillimeter-Observatorien bereitet sich die Abteilung auf die Nutzung des Atacama Large Millimeter Array (ALMA) vor, das demnächst in Betrieb gehen wird.

Die Untersuchung Brauner Zwerge, die erstmals 1995 entdeckt wurden, ist ein weiteres wichtiges

Forschungsgebiet. Wie entstehen Braune Zwerge? Sind auch substellare junge Objekte von Staub- und Gasscheiben umgeben? Wie oft kommen sie in Doppelsystemen vor, und wie lässt sich ihre Masse genau bestimmen? Wie setzt sich ihre Atmosphäre zusammen? Dies sind einige der brennenden Fragen, mit denen sich die Forscher am MPIA befassen.

#### Die Entstehung von Planetensystemen und die Suche nach Exoplaneten

Mit der Entdeckung der ersten extrasolaren Planeten im Jahre 1995 trat die Erforschung der Planetenentstehung in protoplanetaren Scheiben in eine neue Phase stürmischer Entwicklung ein. Die Abteilung ist gut gerüstet, um auf diesem Gebiet eine bedeutende Rolle zu spielen, mit einer Kombination von Infrarot- und Millimeterwellen-Beobachtungen, numerischen (magneto-) hydrodynamischen Modellrechnungen und Studien des Strahlungstransports. Die am Weltraumteleskop HUBBLE gewonnenen Bilder und die Fülle der von SPITZER gelieferten Daten verschaffen uns neue Einblicke in die frühesten Stadien der Planetenbildung. Die Erhöhung der räumlichen Auflösung durch unsere Entwicklungen in der Adaptiven Optik und durch Infrarot-Interferometrie an Großteleskopen und mit großen Basislinien, sowie der Einsatz von Interferometern im Millimeterwellenbereich verschaffen uns Einblicke in die Struktur und Entwicklung der Scheiben auf räumlichen Skalen, die bereits für die Planetenentstehung relevant sind. Die Entwicklung der zirkumstellaren Gasscheiben wird mit hochauflösender Infrarotspektroskopie untersucht, die Akkretionsphänomene mit Multiobjektspektroskopie.

Wir haben neue Beobachtungsprogramme in Angriff genommen mit dem Ziel, extrasolare Planeten durch direkte Abbildung, nach der Transitmethode und auf astrometrischem Wege zu finden. Mit dem Spectral Differential Imager (SDI) am VLT stellen wir an der hochauflösenden Infrarotkamera mit Adaptiver Optik NACO ein neues Abbildungsverfahren mit hohem Kontrast bereit. Gegenwärtig ist das System leistungsfähiger als jedes andere Instrument dieser Art und bereitet den Weg für das Instrument PLANET FINDER der ESO. Die Abteilung beteiligt sich aktiv am Planetensuchprogramm SEEDS mit dem SUBARU-Teleskop auf Hawaii.

Das theoretische Programm der Abteilung Planeten- und Sternentstehung ist konzentriert auf komplexe numerische Simulationen zur Entwicklung protoplanetarer Scheiben, einschließlich des Zusammenspiels von Strahlung, Dynamik, Chemie und Entwicklung der Staubteilchen. Die Entstehung massereicher Sterne ist ein weiterer Gegenstand theoretischer Studien. Programme zur Berechnung des Strahlungstransports in mehreren Dimensionen, sowohl für Moleküllinien als auch für das Kontinuum der Staubemission, wurden in der Abteilung entwickelt. Die theoretischen Studien sind auch mit den verschiedenen Beobachtungsprogrammen eng verzahnt.

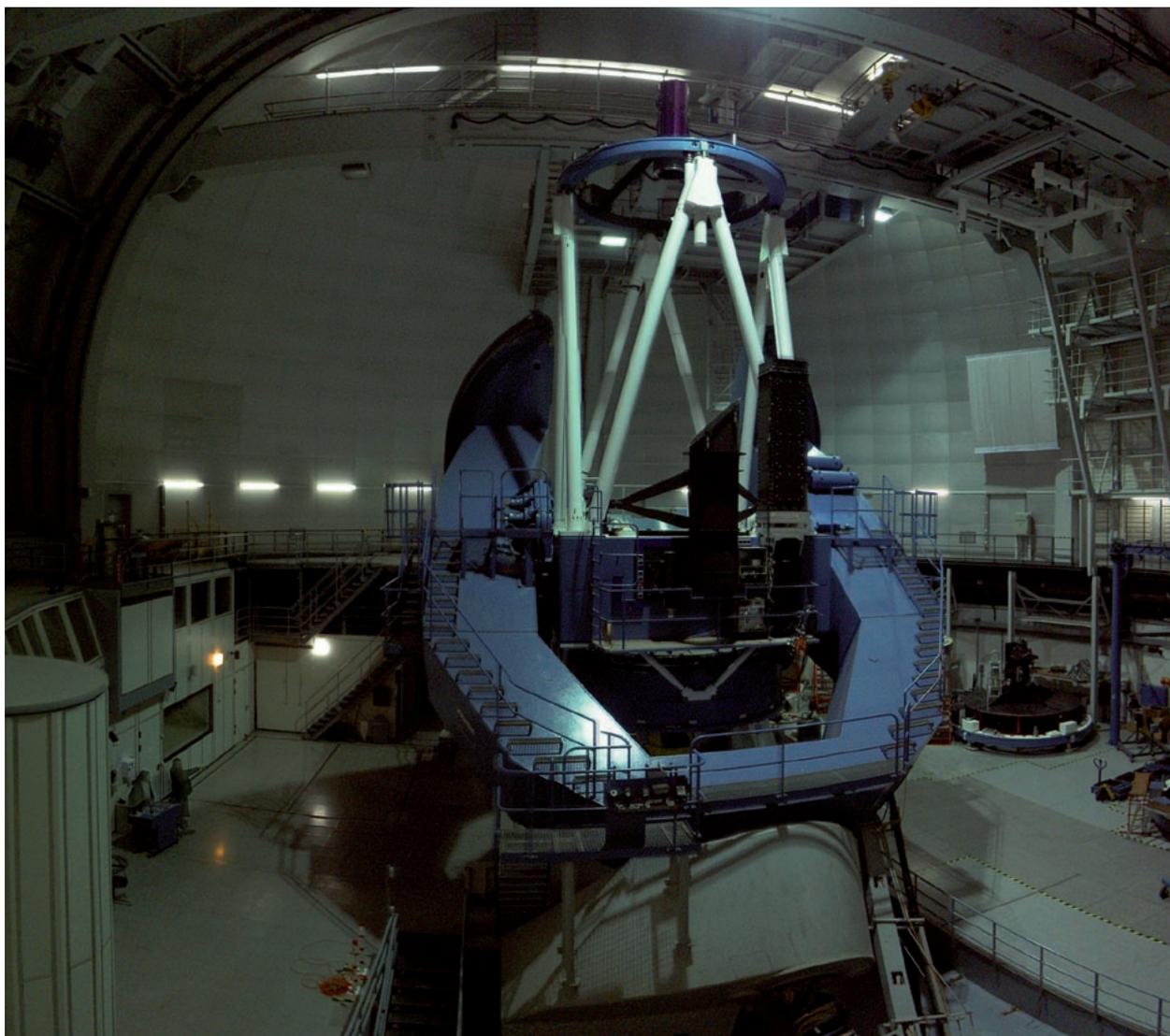
Das Verständnis vieler der mikrophysikalischen Prozesse und der Zusammensetzung von Staub und Gas während der Planeten- und Sternentstehung erfordert gezielte Laboruntersuchungen. Eine entsprechende Arbeitsgruppe »Laborastrophysik« gehört zu unserer Abteilung und befindet sich im Institut für Festkörperphysik der Universität Jena. Diese Gruppe untersucht die spektroskopischen Eigenschaften von Nanoteilchen sowie von Molekülen in der Gasphase.

## 1.2 Observatorien – Teleskope – Instrumente

Das MPIA war mit dem Aufbau und Betrieb zweier großer bodengebundener Observatorien befasst. In den 70er und 80er Jahren war der Aufbau des Calar-Alto-Observatoriums, nach wie vor der größten Sternwarte des europäischen Kontinents, eine zentrale Aufgabe des MPIA: Das 2,2- und das 3,5-m-Teleskop werden nach wie vor für zeitgemäße Beobachtungsprogramme eingesetzt; seit 2004 wird das Observatorium als Centro Astronomico Hispano-Alemán (CAHA), eine Organisation spanischen Rechts, gemeinsam von der Max-Planck-Gesellschaft und dem Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) betrieben. Seit 1997 koordiniert das MPIA die deutsche Beteiligung am Large Binocular Telescope (LBT) auf dem Mt. Graham in

der Nähe von Tucson, Arizona; die zweite Primärfokus-Kamera wurde Ende 2007 am Teleskop installiert und in Betrieb genommen; mittlerweile wird sie für wissenschaftlichen Beobachtungsprogramme angeboten. Gegenwärtig wird das Instrument LUCIFER in Betrieb genommen, das gemeinsam mit LSW, MPE, AIRUB und FHGT entwickelt wurde. Das Institut setzt auch sein 2,2-m-Teleskop ein, das auf dem Berg La Silla in Chile von der Europäischen Südsternwarte (Eso) betrieben wird, und an dem Wissenschaftler der Max-Planck-Gesellschaft 25 Prozent der Beobachtungszeit nutzen können.

Abb. 1.2: Das 3,5-m-Teleskop auf dem Calar Alto



Die am Institut entwickelten und gebauten Instrumente werden sowohl für erdgebundene als auch für welt- raumgestützte Beobachtungen eingesetzt. Beide Beobachtungsarten ergänzen einander heute in idealer Weise. Die erdgebundenen Teleskope haben meist größere Primärspiegel und damit eine größere Licht- sammelleistung als Weltraumteleskope. Bei Einsatz moderner Techniken wie Adaptiver Optik und Inter- ferometrie, an deren Entwicklung das MPIA an vorderster Front arbeitet, erzielen sie auch eine höhere räumliche Auflösung. Weltraumteleskope sind hingegen unerlässlich bei Beobachtungen in Wellenlängenbereichen, in denen die Erdatmosphäre die einfallende Strahlung absorbiert oder einen störenden Hintergrund erzeugt, wie dies z.B. in weiten Teilen des infraroten Spektralbereiches der Fall ist.

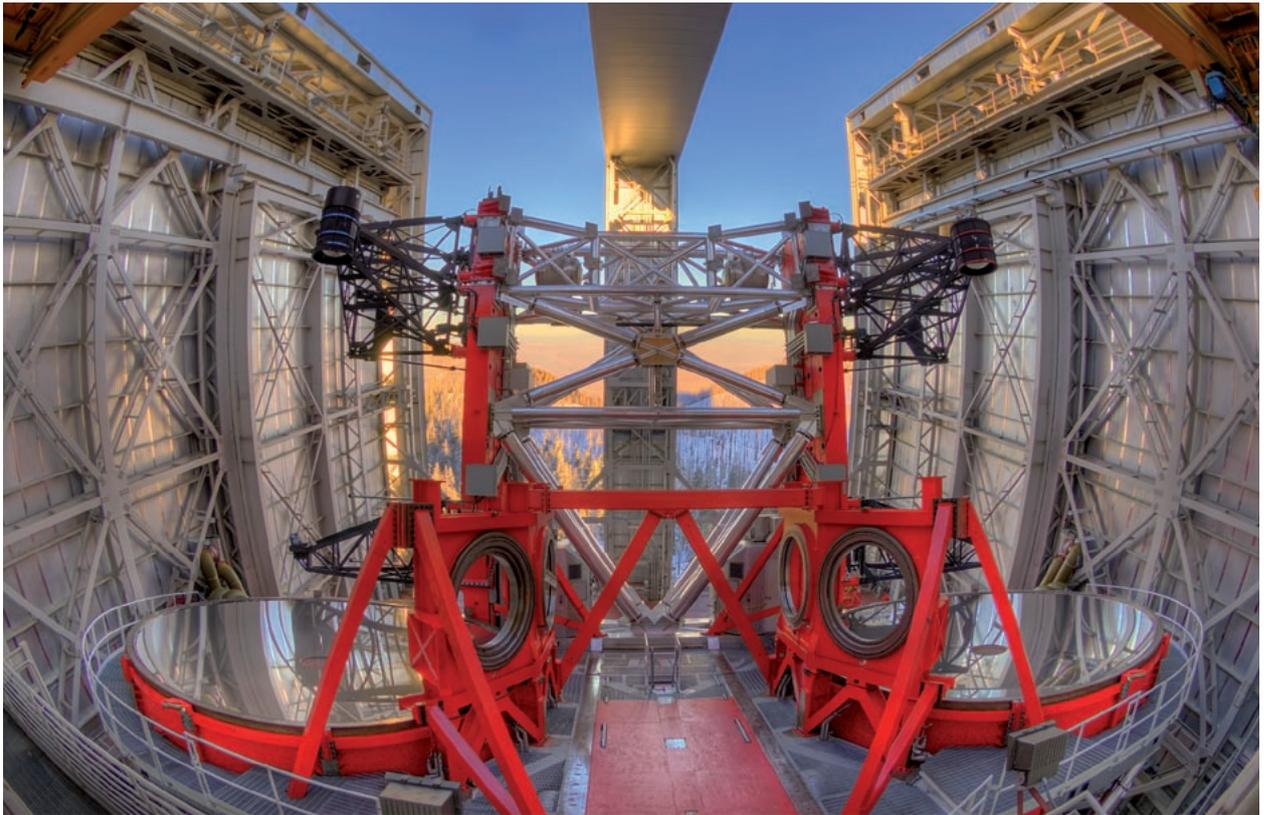
An der Entwicklung der Infrarotastronomie hat das MPIA seit deren Pionierzeit in den siebziger Jahren erfolgreich teilgenommen. So entstand ISOPHOT, eines von vier Messinstrumenten des weltweit ersten Infrarot-Weltraumobservatoriums Iso der Europäischen Weltraum- behörde ESA, unter der Federführung des Instituts. Iso lieferte von 1996 bis 1998 hervorragende Daten, ins- besondere in dem bis dahin nicht zugänglichen Bereich

des fernen Infrarot. Das hierbei gewonnene Know- how setzen die Wissenschaftler am Institut bei jetzt anlaufenden Projekten, wie den Weltraumteleskopen HERSCHEL und James Webb Space Telescope (JWST) ein. Astronomen des MPIA sind gegenwärtig auch am US- amerikanischen Infrarotobservatorium SPITZER aktiv mit Beobachtungsprogrammen beteiligt.

Die Instrumente der neuen Generation für Teleskope der 8-m-Klasse und für Weltraumobservatorien sind zu komplex und zu teuer, als dass sie in einem einzelnen Institut von der Größe des MPIA entwickelt werden könnten. Deshalb ist das Institut heute an einer Reihe inter- nationaler Kollaborationen zum Bau neuer Großteleskope und wissenschaftlicher Instrumente beteiligt. Damit ist der Zugang zu den bedeutendsten Observatorien der Erde gewährleistet. Auf der Südhalbkugel ist dies das Very Large Telescope (VLT) der Eso in Chile mit seinen vier 8,2-Meter-Teleskopen, die sich zu einer leistungsstarken interferometrischen Anordnung zu- sammenschließen lassen. Auf der Nordhalbkugel ist das MPIA am Large Binocular Telescope (LBT) in Arizona beteiligt. Dieses außergewöhnliche Teleskop verfügt über zwei 8,4-Meter-Spiegel auf einer gemein- samen Montierung und ist damit das weltweit größte Einzelteleskop. Mit der Aufnahme des regulären wissen- schaftlichen Betriebes der ersten und der Inbetriebnahme der zweiten Primärfokus-Kamera im Jahr 2007 ist das LBT zu einem produktiven Großteleskop ersten Ranges

**Abb. I.3:** Das Very Large Telescope in den chilenischen Anden. (Bild: Eso)





**Abb. I.4:** Das Large Binocular Telescope (LBT) auf dem Mount Graham in Arizona. (Bild: LBTO)

geworden. Im Jahr 2007 wurde die Beteiligung des Instituts an der PanSTARRS-1-Kollaboration (PS 1) intensiviert. Damit hat das MPIA uneingeschränkten Zugang zu den Daten, die mit einem 1,8-m-Weitfeld-Teleskop auf Haleakala, einem Vulkan der Hawaii-Insel Maui, gesammelt werden. Die erste Gigapixel-Kamera für dieses Projekt wurde im August 2007 ans Teleskop gebracht.

Diese Kollaborationen versetzen das MPIA in die Lage, den Nord- und Südhimmel mit erstklassigen Großteleskopen zu erforschen. Gleichzeitig beteiligt sich das Institut aktiv an Studien zur Instrumentierung von Großteleskopen der nächsten Generation, den sogenannten Extremely Large Telescopes (ELT).

### **Bodengebundene Astronomie – Instrumentierung**

Gegenwärtig konzentrieren sich die Projekte des MPIA im Bereich der Instrumentierung bodengebundener Teleskope auf Instrumente für das VLT-Interferometer (VLTI) der Eso, hochgenaue Abbildungssysteme für LBT und VLT, sowie Durchmusterungsinstrumente für den Calar Alto und auch für das Wise-Observatorium in Israel. Das MPIA ist auch an Studien für die zukünftige Instrumentierung des Europäischen ELT (E-ELT) beteiligt.

### **Instrumente für das VLTI**

Im August 2008 wurden die differentiellen optischen Verzögerungsstrecken des Dual-feed-Systems **PRIMA** am VLTI auf dem Cerro Paranal in Chile installiert. Sie wurden vom MPIA zusammen mit dem Observatoire de Genève und der Landessternwarte Heidelberg gebaut. Im damit verbundenen Forschungsprojekt **ESPRi** sollen die Verzögerungsstrecken dazu dienen, den Winkelabstand der untersuchten Sterne von einem Referenzstern mit Mikrobogensekunden-Genauigkeit zu messen. Damit wird die dynamische Bestimmung der Massen extrasolarer Planeten aufgrund präziser astrometrischer Messungen der Reflexbewegungen ihrer Zentralsterne möglich.

Das MPIA beteiligt sich am Bau von **MATISSE** und **GRAVITY**, Instrumenten der zweiten Generation für das VLTI. **MATISSE** ist ein Nachfolger des am MPIA gebauten Instruments **MIDI**, das seit September 2003 mit großem Erfolg auf dem Paranal betrieben wird. Das **MATISSE**-Konsortium besteht aus neun vom Observatoire de la Côte d'Azur geführten Instituten. **MATISSE** wird im mittleren Infrarot arbeiten und das Licht aller vier 8,2-m-Teleskope des VLT zur Abbildung mit Winkelauflösung im Bereich von 10 bis 20 Millibogensekunden zusammenführen. Die wissenschaftlichen Anwendungen reichen von der Struktur aktiver Galaxienkerne (AGN) bis zur Entstehung von Planetensystemen und masse-reichen Sternen und zur Untersuchung zirkumstellarer Umgebungen.

**GRAVITY** ist der Nachfolger von **PRIMA**. Wie **MATISSE** wird das Instrument das Licht aller vier 8,2-m-Teleskope des VLT zusammenführen, allerdings im nahen Infrarot. Das **GRAVITY**-Konsortium wird vom MPI für Extraterrestrische Physik in Garching geleitet. Neben dem MPIA sind das Observatoire de Paris und die Universität Köln beteiligt. Unterstützt von einer hochleistungsfähigen adaptiven Optik, wird **GRAVITY** in einem zwei Bogensekunden großen Bildfeld Präzisionsastrometrie kleinster Winkel und die phasenreferenzierte Abbildung schwacher Lichtquellen ermöglichen. Damit können die Bewegungsabläufe innerhalb weniger Vielfacher des Ereignishorizonts um das Schwarze Loch im Galaktischen Zentrum untersucht und die Allgemeine Relativitätstheorie im Grenzfall starker Felder getestet werden. Andere Anwendungen betreffen den direkten Nachweis von Schwarzen Löchern intermediärer Masse in Galaxien, die dynamische Massenbestimmung extrasolarer Planeten, den Ursprung protostellarer Jets und die Abbildung von Sternen und leuchtendem Gas in den durch Staub verdunkelten Umgebungen aktiver Galaxienkerne und Sternentstehungsgebiete, oder von protoplanetaren Scheiben.

#### Hochgenaue Abbildungssysteme

**LUCIFER 1**, die erste von zwei identischen tiefgekühlten Kameras und Multiobjekt-Spektrographen für das LBT zum Einsatz im mittleren Infrarot, wurde im August 2008 vom MPIA zum Mount Graham gebracht. Dieses Instrument wurde gemeinsam mit der Landessternwarte Heidelberg, dem MPE in Garching, der Universität Bochum und der Fachhochschule für Technik und Gestaltung in Mannheim gebaut und wird im Januar 2009 für den wissenschaftlichen Einsatz bereit stehen. Im seeingbegrenzten Modus besitzt es ein  $4 \times 4$  Quadratbogenminuten großes Gesichtsfeld. Sobald die adaptiven Sekundärspiegel am LBT arbeiten werden, kann für beide **LUCIFER**-Instrumente in einem  $0,5 \times 0,5$  großen Gesichtsfeld mit beugungsbegrenzter Auflösung gerechnet werden. Mit adaptiver Optik wird auch eine spektrale Auflösung von mehreren 1000 erreichbar sein. Die wissenschaftlichen Anwendungen der vielseitigen **LUCIFER**-Instrumente sind zahlreich, etwa die Untersuchung von Sternentstehungsgebieten in nahen Galaxien.

Das mit Abstand größte Instrumentierungsprojekt des Instituts ist der Strahlvereiner **LINC-NIRVANA** für das LBT im nahen Infrarot, der gegenwärtig in der Integrationshalle des MPIA gebaut wird. Bei diesem Projekt leitet das MPIA als PI-Institut ein Konsortium, zu dem die italienischen Observatorien (**INAF**), das MPIfR in Bonn und die Universität Köln gehören. Über die kohärente Zusammenführung der Strahlengänge beider Hauptspiegel mittels Fizeau-Interferometrie wird **LINC-NIRVANA** bei Wellenlängen von 1 bis  $2,4 \mu\text{m}$  in einem  $10,5 \times 10,5$  großen Gesichtsfeld beugungsbegrenzte

Bilder liefern, wobei die räumliche Auflösung jener eines 23-m-Teleskops entsprechen wird. Multikonjugierte adaptive Optik mit bis zu 20 natürlichen Leitsternen wird eine weitgehende Himmelsüberdeckung gewährleisten. Aufgrund seines großen Gesichtsfelds und seiner astrometrischen Qualitäten reichen die Anwendungsmöglichkeiten des Instruments von der Kosmologie mit Supernovae über die Entstehung von Galaxien, Sternpopulationen und Sternentstehung in Galaxien bis hin zur Struktur zirkumstellarer Scheiben und zur Untersuchung der Planeten des Sonnensystems und ihrer Atmosphären.

Als Co-PI-Institut in Zusammenarbeit mit dem Laboratoire d'Astrophysique de l'Observatoire de Grenoble und dem Laboratoire d'Astrophysique in Marseille ist das MPIA an der Entwicklung von **SPHERE** beteiligt, einem VLT-Instrument, das auf die Abbildung jupiterähnlicher extrasolarer Planeten spezialisiert ist. Zur Überwindung des enormen Helligkeitskontrastes zwischen den Planeten und ihren Zentralsternen werden bei **SPHERE** extreme adaptive Optik (**XAO**), Koronographie und drei für differenzielle Abbildung ausgelegte Fokalebene-Instrumente zum Einsatz kommen, welche Polarimetrie im Sichtbaren, duale Abbildungstechnik im nahen Infrarot, beziehungsweise integrale Feldspektroskopie im J-Band ermöglichen werden.

#### Instrumente für Durchmusterungen

Das Arbeitspferd für die laufenden Durchmusterungen des MPIA ist die Nah-Infrarot-Kamera **OMEGA 2000**, die seit 2003 im Primärfokus des 3,5-m-Teleskops auf dem Calar Alto zum Einsatz kommt. Ihr Gesichtsfeld ist  $15,4 \times 15,4$  und ihr Wellenlängenbereich liegt bei  $z$  bis  $K$ .

**PANIC**, die Panoramic Near Infrared Camera, wird der Nachfolger von **OMEGA 2000** sein – eine vielfältig nutzbare Weitfeldkamera für den Einsatz am 2,2-m-Teleskop auf dem Calar Alto, die gemeinsam vom MPIA und dem Instituto de Astrofísica de Andalucía entwickelt wird. Mit seinen vier Detektoren vom Typ **HAWAII2-RG** wird **PANIC** ein Gesichtsfeld von  $30' \times 30'$  besitzen. Die Kamera eignet sich gleichermaßen zur Durchmusterung galaktischer und extragalaktischer Objekte, wie auch von Objekten des Sonnensystems. Einige der zahlreichen wissenschaftlichen Fragestellungen betreffen Galaxien mit Gammastrahlen-Ausbrüchen, Supernovae, Entfernungsskalen, hochrotverschobene Quasare, Akkretionsscheiben, Post-AGB-Sterne und optische Gegenstücke zu Röntgen-Doppelsternen.

Auch **LAIWO**, der Large Area Imager für das Wise-Observatorium in Israel, wurde am MPIA gebaut. Diese Kamera für den optischen Spektralbereich wurde im Oktober 2007 am dortigen 1-m-Teleskop installiert. Ein Mosaik aus vier CCD-Detektoren mit je  $4000 \times 4000$  Pixeln liefert ein Gesichtsfeld von einem Quadrat-

grad. Wichtigste wissenschaftliche Anwendung wird die photometrische Suche nach jupitergroßen extrasolaren Transit-Planeten sein.

Das Projekt **HAT-South** ist ein Netzwerk aus 24 kleinen automatischen Teleskopen, die zahlreiche nahe Sterne nach Transits extrasolarer Planeten absuchen. Die Teleskope stehen an drei Standorten: Las Campanas in Chile, die HESS-Station in Namibia und Siding Spring in Australien. Das MPIA ist für Aufbau und Betrieb der namibischen Station verantwortlich. Die Durchmusterung soll Anfang 2010 beginnen, es wird mit der Entdeckung von 25 Exoplaneten pro Jahr gerechnet. HAT-South ist eine Kollaboration von Harvard, der Australian National University und dem MPIA.

**Abb. 1.5:** Das europäische Infrarot-Observatorium **HERSCHEL** bei der Wägung in Kourou kurz vor dem Start im Mai 2009.

Instrumente für die Teleskope der nächsten Generation

Mit Blick auf die Zukunft nimmt das MPIA an den Studien für METIS und MICADO, zwei Instrumente für das 42 m große E-ELT teil. **METIS** soll eine Kamera mit Spektrographen für das mittlere Infrarot im Bereich vom L-Band bis mindestens 20  $\mu\text{m}$  werden. Eine breite Auswahl an Auflösungsvermögen ist vorgesehen. Adaptive Optik wird beugungsbegrenzte Beobachten erlauben. Forschungsthemen werden hier sein: die Bedingungen im frühen Sonnensystem, die Entstehung und Entwicklung protoplanetarischer Scheiben, Untersuchungen des galaktischen Zentrums und der leuchtkräftigen Zentren naher Galaxien, aktive Kerne hochrotverschobener Galaxien und Gammastrahlen-Ausbrüche bei hoher Rotverschiebung.

Im Dezember 2008 wurde das Konzept von **MICADO** für eine Phase-A-Studie ausgewählt. MICADO ist eine Kamera für das nahe Infrarot mit multikonjugierter ad-



aptiver Optik, die eine 6- bis 7-fach höhere Auflösung als das JWST erreichen soll. In den Spektralbereichen I bis K wird ihre Grenzhelligkeit bei 29 mag liegen. Die Anwendungen reichen von jungen stellaren Objekten in unserer Galaxis bis zur Sternentstehung in hochrotverschobenen Galaxien. Die erreichbare astrometrische Präzision wird die Untersuchung der Umlaufbahnen von Sternen um das Schwarze Loch im galaktischen Zentrum und der Eigenbewegung von Kugelsternhaufen im galaktischen Halo weiter voranbringen. Mit MICADO wird auch die detaillierte Kartierung der Strukturen, Sternpopulationen und Staubverteilungen in Galaxien bei  $z = 1$  möglich sein.

### Infrarot-Weltraumastronomie – Instrumentierung

Das MPIA ist einer der wichtigsten Partner beim Bau der Ferninfrarotkamera mit Spektrometer PACS (Kap. IV.5). Dieses Instrument wird an Bord des europäischen Infrarotobservatoriums HERSCHEL arbeiten, eines Weltraumteleskops mit 3,5 Metern Öffnung (Abb. I.5). HERSCHEL ist das größte bis heute gebaute Weltraumteleskop und wird wertvolle Beobachtungen der kältesten und fernsten, weitgehend noch unerforschten Objekte im Kosmos liefern. Der Satellit und seine Instrumente werden zur Zeit umfassenden Labortests unterzogen. Der Start der Mission erfolgte im Mai 2009.

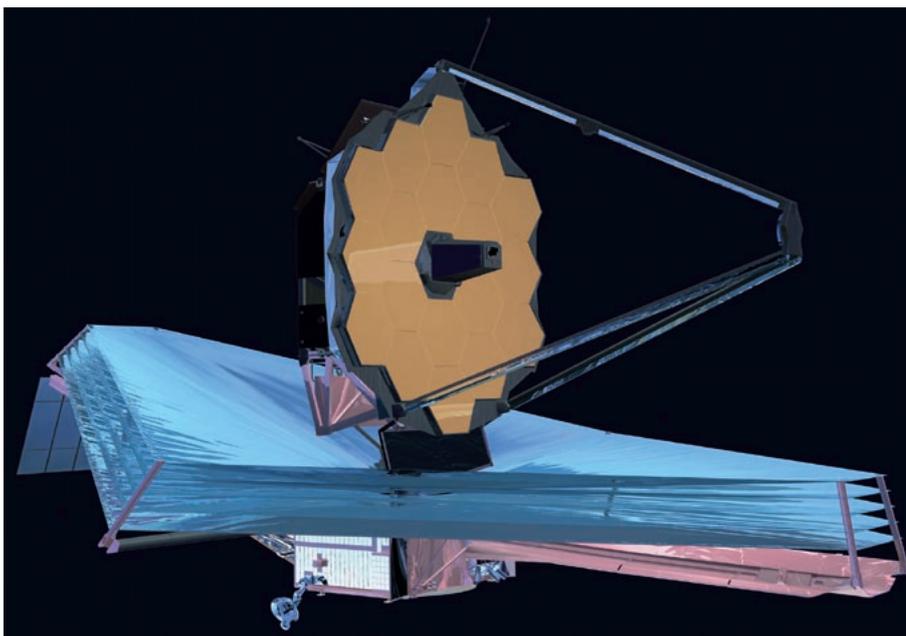
Das Institut ist auch an führender Position in Deutschland am James Webb Space Telescope (JWST), dem Nachfolger des Weltraumteleskops HUBBLE, be-

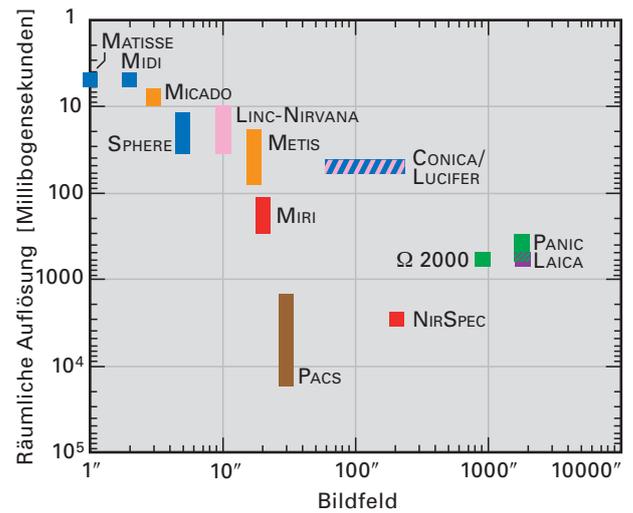
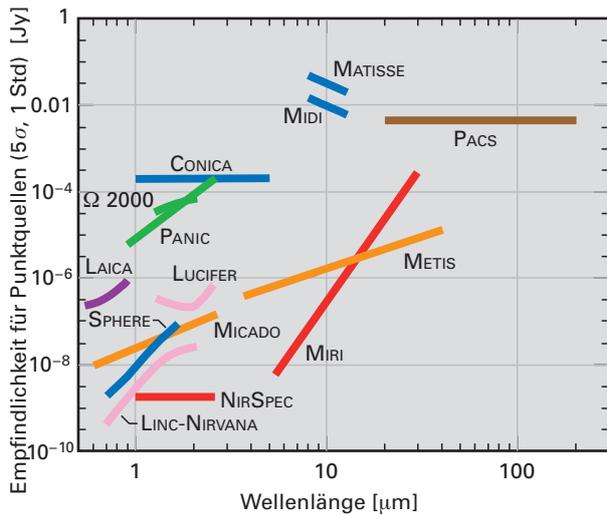
teiligt (Abb. I.6). Das JWST wird einen ausklappbaren Hauptspiegel mit etwa sechs Metern Durchmesser und drei Fokalinstrumente erhalten. Im Rahmen eines europäischen Konsortiums entwickelt das MPIA die Kryo-Mechanismen zur Positionierung der optischen Komponenten in MIRI, einem der drei Fokalinstrumente (Kap. IV.6). MIRI besteht aus einer hochauflösenden Kamera und einem Spektrometer mittlerer Auflösung, ist für den mittleren Infrarotbereich von  $5\ \mu\text{m}$  bis  $28\ \mu\text{m}$  Wellenlänge ausgelegt und wird je zur Hälfte von amerikanischen und europäischen Instituten gebaut.

Das MPIA ist auch an der Entwicklung von NIRSPEC, dem zweiten Fokalinstrument des JWST, einem Multiobjekt-Spektrographen für das nahe Infrarot, beteiligt (Kap. IV.5). Auch hier steuert das Institut kryogene Mechaniken bei. Dieser Beitrag wird den Astronomen des MPIA weitere hervorragende Beobachtungsmöglichkeiten mit hoher Auflösung und Empfindlichkeit im Infraroten bieten. Auf beide Aufgaben, MIRI und NIRSPEC, ist das Institut durch die erfolgreichen Entwicklungen von ISOPHOT und PACS gut vorbereitet. Bei der Entwicklung der feinmechanisch-optischen Herzstücke von MIRI und NIRSPEC besteht auch eine enge Zusammenarbeit mit dem Unternehmen Carl Zeiss Optronics, Oberkochen.

Auch an dem Weltraumprojekt GAIA der ESA wirkt das MPIA mit, es spielt bei einem wesentlichen Teilaspekt der Datenanalyse die führende Rolle. GAIA soll als Nachfolger des Astrometriesatelliten HIPPARCOS zwischen 2010 und 2012 starten und eine um mehrere Größenordnungen höhere Empfindlichkeit besitzen. Damit wird der Satellit die Positionen, Helligkeiten und Radialgeschwindigkeiten von einer Milliarde Sterne sowie zahlreichen Galaxien, Quasaren und Asteroiden bestimmen. Das Teleskop liefert niedrig aufgelöste spektrophotometrische Daten in 20 ausgewählten Spektral-

**Abb. I.6:** Mögliche Konstruktion des JWST, mit dem großen Hauptspiegel und dem charakteristischen Sonnenschutz.





bereichen. Anders als HIPPARCOS wird GAIA jedoch keinen Inputkatalog erhalten, sondern systematisch alle erreichbaren Objekte vermessen. Daher wird der Datenauswertung zur automatischen Klassifikation der Himmelskörper eine große Bedeutung zukommen. Am MPIA wird derzeit (mit Unterstützung des DLR) an Konzepten zur Bewältigung dieser aufwändigen Aufgabe gearbeitet.

EUCLID, eine »Cosmic Visions«-Mission der ESA, dient der Bestimmung der Geometrie des Dunklen Universums auf dem Weg der Untersuchung der Beziehung zwischen Entfernung und Rotverschiebung und der Entwicklung kosmischer Strukturen. Zu diesem Zweck sollen die Morphologie und die Rotverschiebung von Galaxien und Galaxienhaufen bis zu Rotverschiebungen  $z = 2$ , also zurück bis in die Zeit vor zehn Milliarden Jahren, bestimmt werden – damit wird die gesamte Epoche überdeckt, in der die Dunkle Energie wesentlich zur Beschleunigung der kosmischen Expansion beigetragen hat. Die mit EUCLID verfolgte Strategie wird auf der Messung baryonischer akustischer Schwingungen und des schwachen Gravitationslinsen-Effekts basieren – auf zwei komplementären Verfahren zur Untersuchung der Dunklen Energie. Die mit EUCLID durchgeführte Durchmusterung wird ein 20 000 Quadratgrad großes Himmelsareal außerhalb der Milchstraße im Sichtbaren und im nahen Infrarot mit einer Winkelauflösung von  $0,3''$  abbilden; von etwa einem Drittel aller Galaxien innerhalb des durchmusterten Areals, die heller sind als 22 mag, wird sie auch Spektren mittlerer Auflösung ( $R = 400$ ) liefern.

PLATO (Planetary Transits and Oscillations of stars) ist eine weitere »Cosmic Vision«-Mission der ESA. Ihr primäres Ziel ist der Aufbau einer Datenbasis für statistische Analyse extrasolarer Planetensysteme um Sterne, die hell und nah genug sind, um sie (simultan oder später) detailliert untersuchen zu können. PLATO wird 20 000 Sterne mit einer photometrischen Genauigkeit von besser als  $\pm 27$  ppm pro Stunde und mehr als 250 000

Abb. 1.7: Die wichtigsten Instrumente des Instituts. Links ihre Empfindlichkeit in Abhängigkeit von der Wellenlänge, rechts ihre räumliche Auflösung in Abhängigkeit von der Bildfeldgröße.

Sterne etwas weniger genau vermessen. Die seismologische Analyse dieser Daten wird die Bestimmung der Massen von Sternen und Planeten mit einer Genauigkeit von bis zu einem Prozent, die Entdeckung erdähnlicher Planeten und die Bestimmung des Alters der untersuchten Systeme mit einer Unsicherheit von wenigen hundert Millionen Jahren erlauben. PLATO wird ein enormes, 557 Quadratgrad großes Gesichtsfeld besitzen. Die erforderliche kurze Brennweite führte zu dem Konzept eines Bündels von 28 identischen kleinen Teleskopen, die jedes eine Sammelfläche von 0,01 Quadratmeter besitzen.

SPICA, das Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics, ist die dritte astronomische Mission aus dem »Cosmic Vision«-Programm der ESA, an dem das MPIA in der Studienphase beteiligt ist. Es soll die nächste Weltraummission für Beobachtungen im fernen Infrarot nach HERSCHEL sein. Die Mission soll 2017 starten und wird ein kaltes 3,5-m-Teleskop beinhalten. Dank dieser großen und kalten Öffnung wird SPICA eine um zwei Größenordnungen schwächere Grenzhelligkeit erreichen als heutige Weltraumteleskope wie HERSCHEL. SPICA wird unter der Leitung der japanischen Weltraumbehörde JAXA stehen. Europa wird sich an der Mission mit dem Ferninfrarot-Instrument SAFARI, dem Hauptspiegel des Teleskops und Teilen des Bodensegments beteiligen.

Abb. 1.7. gibt einen Überblick über die wichtigsten bereits arbeitenden und demnächst in Betrieb gehenden Instrumente des MPIA. Sie zeigt links deren Empfindlichkeit in Abhängigkeit von der Wellenlänge und rechts deren räumliche Auflösung in Abhängigkeit von der Bildfeldgröße.

### I.3 Nationale und internationale Zusammenarbeit

**Der Standort Heidelberg bietet dem Institut die Möglichkeit, in einem astronomisch besonders aktiven Umfeld zu wirken. Die Zusammenarbeit mit der Abteilung Hochenergie-Astrophysik des MPI für Kernphysik oder mit den Teilinstituten des seit 1. Januar 2005 bestehenden Zentrums für Astronomie der Universität Heidelberg (ZAH) hat sich immer wieder in vielfältiger Weise ergeben (das ZAH setzt sich aus der Landessternwarte, dem Astronomischen Rechen-Institut und dem Institut für Theoretische Astrophysik zusammen). Dies gilt derzeit vor allem für den DFG-Sonderforschungsbereich Nr. 439, »Galaxien im jungen Universum«, an dem alle genannten Heidelberger Institute beteiligt sind. Enge Zusammenarbeit besteht auch im Rahmen der »International Max Planck Research School« für Astronomie und Kosmische Physik (IMPRS, siehe Kap. I.4).**

Überregional kommt es immer wieder zu Kollaborationen mit den Max-Planck-Instituten für extraterrestrische Physik in Garching und für Radioastronomie in Bonn, sowie mit zahlreichen deutschen Landes- und Universitätsinstituten. Einen Überblick vermittelt Abb. I.8.

**Abb. I.8:** Verteilung der Partnerinstitute des MPIA in Deutschland.



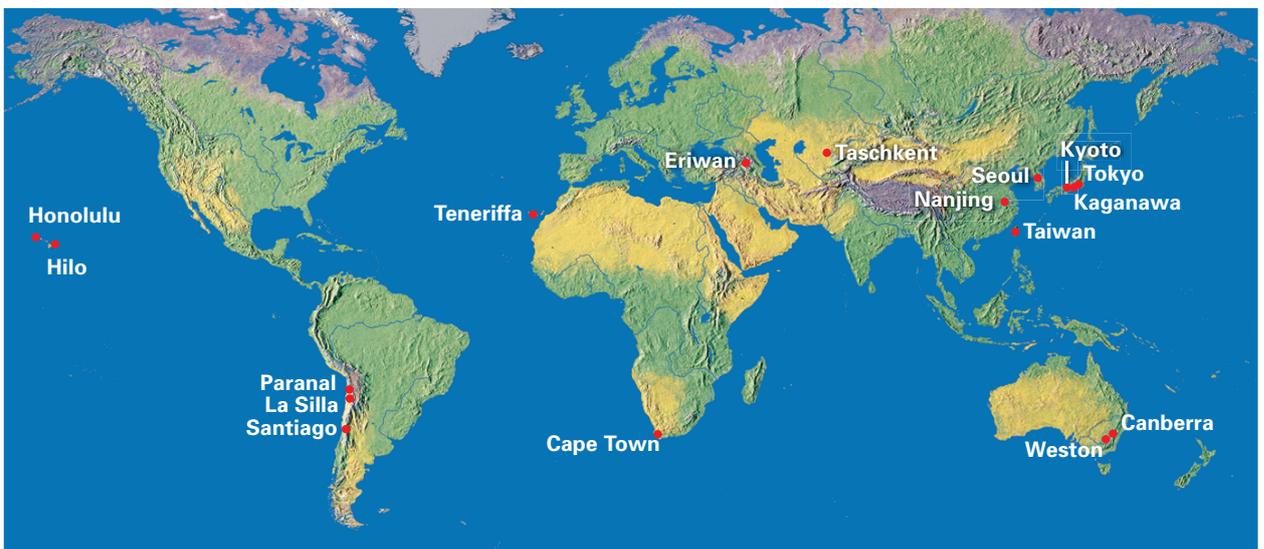
Auch der Aufbau eines Deutschen Zentrums für Interferometrie (Frontiers of Interferometry in Germany, FRINGE) mit Sitz am MPIA unterstreicht die herausragende Rolle des Instituts innerhalb Deutschlands bei dieser zukunftsweisenden astronomischen Technik. Ziel ist es, die Anstrengungen deutscher Institute und der Industrie auf diesem Gebiet zu koordinieren. FRINGE soll Geräte und Software zusammenführen, welche die beteiligten Institute bauen. Ein weiteres konkretes Ziel besteht in der Vorbereitung der nächsten Generation interferometrischer Instrumente. Weiterhin ist hier die Beteiligung an der Festlegung neuer Abbildungsfähigkeiten des VLT-Interferometers zu nennen. FRINGE war zusammen mit anderen Interferometriezentren in Europa an der Gründung der European Interferometry Initiative beteiligt. Langfristiges Ziel ist die Einrichtung eines europäischen Interferometriezentrums für den optischen und infraroten Spektralbereich. An FRINGE sind das Astrophysikalische Institut Potsdam, das Astrophysikalische Institut der Universität Jena, das Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik in Freiburg, das MPI für extraterrestrische Physik in Garching, das MPI für Radioastronomie in Bonn, die Universität Hamburg und das I. Physikalische Institut der Universität Köln beteiligt.

Das MPIA beteiligt sich an einer Reihe von EU-Netzwerken und weltweiten Kollaborationen (Abb. I.9), teilweise in leitender Funktion. Hierzu zählen:

OPTICON: ein von der Europäischen Union finanziertes Netz aller Betreiber größerer Teleskope in Europa mit dem Ziel, die wissenschaftlich-technische Infrastruktur optimal zu nutzen und so die wissenschaftliche Ausbeute zu erhöhen und Kosten zu sparen. Ein weiteres wichtiges Ziel von OPTICON besteht in der Koordination der technologischen Entwicklung für die bodengebundenen Teleskope der nächsten Generation.

ESPRI (Exoplanet Search with PRIMA): dieses Projekt zielt auf die erste systematische astrometrische Suche nach Exoplaneten mit einer Messgenauigkeit von 10 bis 20 Mikrosekunden. Dazu haben wir, in Zusammenarbeit mit ESO, der Landessternwarte Heidelberg und der Sternwarte Genf, für das Instrument PRIMA am VLTI differenzielle Verzögerungsleitungen (differential delay lines, DDL) gebaut. Unser Konsortium entwickelt auch astrometrische Auswerteprogramme. In der garantierten Beobachtungszeit nach Inbetriebnahme, vermutlich Ende 2010 oder Anfang 2011, wird das fünfjährige Planetensuchprogramm starten.

CID: Das Projekt »Chemistry In Disks« ist eine Zusammenarbeit mit Bordeaux, Jena and IRAM (Grenoble). Hauptziel ist die Untersuchung der physikalischen Struktur und chemischen Zusammensetzung protoplanetarer



**Abb. I.9:** Verteilung der internationalen Partnerinstitute des MPIA.

Scheiben in unterschiedlichen Entwicklungsphasen. Wir konzentrieren uns auf eine Stichprobe naher und heller protoplanetarer Scheiben um Sterne geringer (T-Tauri-Sterne) und mittlerer (Herbig-Ae-Sterne) Masse und beobachten verschiedene Emissionslinien mehrerer Moleküle mit dem Interferometer auf dem Plateau de Bure und dem IRAM 30-Meter-Radioteleskop. Es folgt eine umfassende Datenanalyse und Modellierung.

**SEEDS:** Für diese abbildende Durchmusterung wird das SUBARU-Teleskop auf Mauna Kea, Hawaii eingesetzt. Hauptziel ist die Suche nach Riesen-Exoplaneten sowie protoplanetaren und Debris-Scheiben um etwa 500 sonnenähnliche oder massereichere nahe und junge Sterne. Das Projekt ist eine Kollaboration von NAOJ, Princeton und dem MPIA.

**CAROLUS V** ist ein spanisch-deutsches Projekt zur Suche nach Objekten des Spektraltyps T in jungen offenen Sternhaufen und ihrer Charakterisierung. Mit tiefen Aufnahmen im Sichtbaren und im nahen Infrarot suchen wir in drei jungen offenen Sternhaufen nach substellaren Objekten unterhalb der Schwelle für Wasserstoff- und Deuteriumbrennen. Die meisten der gegenwärtigen Mitglieder dieses Netzwerks gehören zum Instituto de Astrofísica de Canarias und zum MPIA, es gibt aber auch Teilnehmer aus anderen Instituten in Spanien und Deutschland.

Das MPIA ist an dem von der DFG finanzierten Netzwerk »Forschergruppe« zum Studium der frühesten Stadien der Sternentstehung beteiligt. Zu diesem Netzwerk gehören die Universität Tübingen und das MPIA (gemeinsamer Vorsitz), das Institut für Geologie und Geophysik und das Institut für Theoretische Astrophysik Heidelberg, das Institut für Planetologie Münster, und das Institut für Geophysik und Extraterrestrische Physik Braunschweig. Das Projekt verbindet Laborastrophysik mit theoretischer Astrophysik und astronomischen Beobachtungen, mit dem Ziel eines besseren Verständnisses der Bildung der ersten Planetenembryos aus den zirkumstellaren Staubhüllen junger Sterne. Das Netzwerk finanziert 10 Doktoranden, von denen die meisten Anfang 2007 ihre Arbeit aufgenommen haben.

**SISCO** (Spectroscopic and Imaging Surveys for Cosmology): Dieses EU-Netzwerk ist der Untersuchung der Galaxienentwicklung mit Hilfe von Himmelsdurchmusterungen gewidmet. Auch hier hat das Institut mit CADIS, COMBO-17 und GEMS bereits erheblich beigetragen. Weiterhin sind beteiligt: University of Durham, Institute for Astronomy, Edinburgh, Universität Oxford, Universität Groningen, Osservatorio Astronomico Capodimonte, Neapel, sowie ESO, Garching.

**ELIXIR** ist ein EU-Netzwerk, das sich der Nutzung der gänzlich neuartigen Möglichkeiten des Instruments NIRSPEC der JWST-Mission widmet. Deren Start ist für 2015 vorgesehen.

**SPITZER Legacy Programs:** SPITZER, das Infrarotteleskop der NASA, begann am 25. August 2003 seine für die Dauer von zweieinhalb Jahren geplante Mission. Im Rahmen eines so genannten Legacy Program erhalten Kollaborationen die Möglichkeit, groß angelegte Beobachtungsprogramme durchzuführen. Das MPIA beteiligt sich an einem solchen Programm zur Untersuchung der frühesten Stadien der Sternentstehung in nahen Galaxien (SINGS) und in unserem Milchstraßensystem. Im Rahmen des FEPS Legacy Program (Formation and Evolution of Planetary Systems) in Zusammenarbeit mit dem Steward Observatory und Kollegen in anderen Instituten ist das MPIA verantwortlich für die Auswertung der spektroskopischen Daten. Im Rahmen von SINGS leitet das MPIA die Auswertung der Radiodaten und der Beobachtungen an Zwerggalaxien.

**GIF** (German-Israeli Foundation): In diesem Rahmen wird ein Programm zur Untersuchung von Gravitationslinsen durchgeführt. Partner des MPIA ist die Universität Tel Aviv. Außerdem wird am Institut die Weitwinkelkamera LAIWO für das Wise-Observatorium gebaut, die zur Suche nach Planetentransits eingesetzt werden soll.

**SDSS** (Sloan Digital Sky Survey): Auf internationaler Ebene hat die Beteiligung an diesem Projekt eine große Bedeutung. Es handelt sich um die bislang umfangreichste Himmelsdurchmusterung, bei der etwa ein Viertel des gesamten Himmels in fünf Farbfiltern aufgenommen wird. Der endgültige Katalog wird Positionen, Helligkeiten und Farben von schätzungsweise hundert Millionen Himmelskörpern sowie die Rotverschiebungen von etwa einer Million Galaxien und Quasaren enthalten. Das MPIA trat als erstes von bis heute zwölf europäischen Partnerinstituten, und als einziges gleich zu Beginn, dem SDSS-Konsortium bei. Für die Sach- und Geldbeiträge des MPIA zum SDSS erhalten einige Mitarbeiter des Instituts die vollen Datenrechte. Im Jahr 2005 wurde die ursprüngliche SDSS-Durchmusterung zu Ende geführt, aber es wurde die Erweiterung SDSS-II/SEGUE beschlossen – sie zielt unter anderem auf die Struktur des Milchstraßensystems ab und wurde Mitte 2008 abgeschlossen.

Als Mitglied des Pan-STARRS1 Science Consortium (PS1SC) ist das MPIA am ehrgeizigsten Durchmusterungsprojekt seit dem SDSS beteiligt. Für Pan-STARRS1 (PS1) wird auf dem Haleakala (Hawaii) ein 1,8-m-Teleskop eingestzt, ausgestattet mit der weltgrößten Kamera, deren Detektor 1,4 Gigapixel und ein 7 Quadratgrad großes Gesichtsfeld hat. Einen kleinen Bruchteil eines der ersten erhaltenen Bilder zeigt Abbildung I.10. Am PS1SC sind die Universität Hawaii, das MPE, die Johns Hopkins University, das Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics mit dem Las Cumbres Observatory Global Telescope, die Universitäten in Durham, Edinburgh und Belfast, sowie Taiwan's National Central University beteiligt. Von 2009 bis 2012 führt das Konsortium mit dem PS1-Teleskop und seinem Grizy-Filtersatz mehrfache zeitversetzte Durchmusterungen durch, so zum Beispiel



die » $3\pi$ -Durchmusterung« des gesamten beobachtbaren Himmels und eine Supernova-Durchmusterung mittlerer Tiefe. Astronomen des MPIA sind führend in vier von zwölf Key-Projekten, einschließlich einer Suche nach Planeten-Transits in der Andromeda-Galaxie, und führen zusätzlich eine Suche nach den entferntesten Quasaren und den kältesten Sternen sowie eine umfassende Untersuchung der Struktur der Lokalen Gruppe durch. In Kapitel IV.7 wird PS1 ausführlich beschrieben.

Beim Weltraumteleskop HERSCHEL ist das MPIA zusammen mit Instituten aus sechs europäischen Ländern am PACS-Konsortium beteiligt. Zum Jahresende waren alle Hardware-Beiträge zum Instrument abgeliefert und wurden abschließend ausführlich getestet. Der Start der Mission fand im Mai 2009 statt. Das

**Abb. I.10:** Dieses Bild der Spiralgalaxie M 51 und ihres wechselwirkenden Nachbarn NGC 5195 wurde mit der GPC1-Kamera von PanSTARRS 1 aufgenommen. Es zeigt einen etwa  $15' \times 15'$  großen Himmelsausschnitt ( $3300 \times 3300$  Pixel bei einer Skala von  $0,26''$  pro Pixel) und entspricht nur etwa einem Prozent des gesamten Gesichtsfeldes von GPC1.

Institut leitet zwei Beobachtungsprogramme der garantierten Beobachtungszeit, »Die frühesten Phasen der Sternentstehung« und »Das staubige junge Universum: Photometrie und Spektroskopie von Quasaren bei  $z > 2$ «, und beteiligt sich an neun weiteren HERSCHEL-Programmen der garantierten und der offenen Zeit. Alle diese Beobachtungsprogramme sind große internationale Kollaborationen.

## I.4 Lehre und Öffentlichkeitsarbeit. Das neue »Haus der Astronomie«

**Die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses und die Weitergabe astronomischer Inhalte an die Öffentlichkeit haben auf dem Königstuhl eine lange Tradition. Nun wurde ein neues Projekt auf den Weg gebracht, das die Anstrengungen aller Heidelberger Astronomen auf diesem Gebiet bündeln und professionalisieren soll.**

Auch Studenten der unteren Semester können sich am MPIA betätigen. So bietet das Institut Fortgeschrittenenpraktika an und ermöglicht den Studierenden die Teilnahme an etwa zwei Monate dauernden »Miniforschungsprojekten«, deren Aufgabenstellungen einen weiten Bereich überdecken: Die Analyse von Beobachtungsdaten oder numerische Simulationen gehören ebenso dazu, wie Instrumentierungsarbeiten. Diese Praktika verschaffen den Studierenden, insbesondere im Hinblick auf eine spätere Diplom- oder Doktorarbeit, frühzeitig einen praxisbezogenen Einblick in die astrophysikalische Forschung.

Die von der Max-Planck-Gesellschaft und der Universität Heidelberg etablierte »International Max Planck Research School« (IMPRS) für Astronomie und Kosmische Physik nahm 2005 ihre Arbeit auf. Im Januar 2008 bot IMPRS 78 Doktoranden aus aller Welt eine dreijäh-

rige Ausbildung in der experimentellen und theoretischen Forschung auf dem Gebiet der Astronomie und der kosmischen Physik unter hervorragenden Bedingungen. Die Einrichtung wird von den fünf Instituten getragen, an denen in Heidelberg astronomische Forschung betrieben wird.

Zu den Aufgaben des Instituts gehört auch die Information einer breiteren Öffentlichkeit über die Ergebnisse der astronomischen Forschung. So halten Wissenschaftler des Instituts Vorträge an Schulen, Volkshochschulen und Planetarien und treten insbesondere anlässlich in der Öffentlichkeit stark beachteter astronomischer Ereignisse auf Pressekonferenzen oder in Radio- und Fernsehsendungen auf. Zahlreiche Besuchergruppen kommen zum MPIA auf dem Königstuhl und zum Calar-Alto-Observatorium.

Bei neun öffentlichen Vorträge unserer Reihe »Astronomie am Sonntag Vormittag«, die im Berichtsjahr zum dritten Mal stattfanden, war der große Hörsaal des Instituts

**Abb. I.11:** Das Haus der Astronomie wird auf dem Gelände des MPIA errichtet. Das futuristische Gebäude, dessen Form an eine Spiralgalaxie erinnern soll (vgl. Abb. I.10), wurde von den Architekten Bernhardt und Partner, Darmstadt, entworfen.



jedes Mal »ausverkauft«. Für Gymnasiasten wurde am MPIA in Zusammenarbeit mit der Landessternwarte und dem Astronomischen Rechen-Institut im Rahmen der Berufsorientierung an Gymnasien (BOGY) wieder ein Schüler-Praktikum durchgeführt. Auch beteiligte sich das MPIA wieder am »Girls' Day«, einer bundesweiten Aktion, mit der Schülerinnen ermuntert werden sollen, sich beruflich in Bereichen zu orientieren, die vorwiegend noch eine Domäne der Männer sind. Etwa 60 Schülerinnen erhielten an verschiedenen Stationen einen Einblick in die Arbeit an einem astronomischen Institut.

Als Vorspiel und Einleitung zum »Internationalen Jahr der Astronomie 2009« führten wir ab Oktober 2008 im Rahmen des »Studium generale« der Universität eine Reihe von 14 öffentlichen Vorträgen zum Thema »Galileis erster Blick durchs Fernrohr und die Folgen heute« durch, in der regelmäßig um die 400 Zuhörer den bekannten Referenten aus dem In- und Ausland lauschten.

Am MPIA wird die monatlich erscheinende Zeitschrift »Sterne und Weltraum« (SuW) herausgegeben. Die Zeitschrift wendet sich an das allgemeine Publikum und bietet sowohl den Fachastronomen als auch der großen Gemeinde der Amateurastronomen ein lebhaftes Forum. Ein besonders wichtiger Leserkreis sind Lehrer und Schüler: An sie richtet sich das Projekt »Wissenschaft in die Schulen!« (WiS!), in dem wir monatlich parallel zur Zeitschrift didaktisches Material entwickeln, das den Lehrern die Behandlung von Themen aus der aktuellen astronomischen Forschung im Rahmen des

ganz normalen Physik-Unterrichts ermöglicht. WiS! wird seit Anfang 2005 von der Klaus Tschira Stiftung gefördert. Das didaktische Material ist im Internet frei verfügbar und erfreut sich in den Schulen wachsender Beliebtheit.

---

### Das »Haus der Astronomie«

Auf einer Pressekonferenz am 10. Dezember 2008 in den Räumen der Klaus Tschira Stiftung wurde bekanntgegeben, dass diese Stiftung auf dem Gelände des MPIA ein »Haus der Astronomie« errichten würde. In dieser Einrichtung sollen die an die Öffentlichkeit gerichteten Aktivitäten aller Heidelberger Astronomen gebündelt und weiter professionalisiert werden. Zusätzlich zur Information der Medien und des allgemeinen Publikums werden die Entwicklung didaktischer Materialien, numerischer Simulationen und Visualisierungen, sowie die Aus- und Fortbildung von Lehrern der Physik, Astronomie und Naturwissenschaften eine wichtige Rolle spielen. Die Klaus Tschira Stiftung wird den Bau des Hauses und dessen technische Ausstattung finanzieren, die Max-Planck-Gesellschaft wird die Einrichtung betreiben. Neben diesen beiden Institutionen werden sich auch die Stadt Heidelberg, das Land Baden-Württemberg und die Universität Heidelberg an den Personalkosten beteiligen. Und die Astronomen des ZAH und des MPIA werden ihre auf den angesprochenen Themenkreis bezogenen Aktivitäten einbringen.

## II. Highlights

### II.1 Zwei Supernovae, Jahrhunderte nach ihrem Aufleuchten

#### »posthum« beobachtet

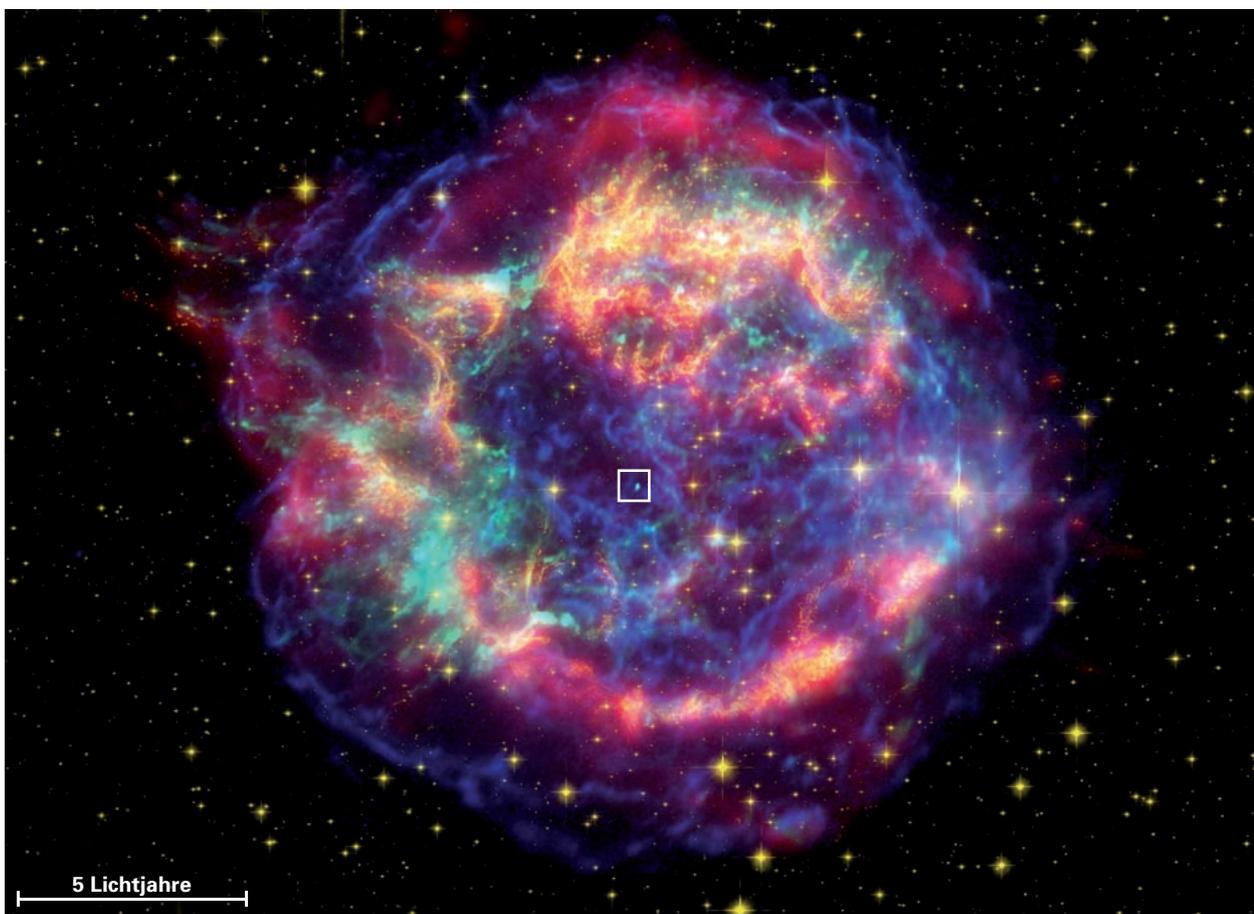
In der gesamten Milchstraße ereignen sich etwa drei Sternexplosionen (Supernovae) pro Jahrhundert. Die meisten bleiben jedoch wegen starker Extinktion durch Staubwolken unbeobachtet. Die wenigen, mit bloßem Auge sichtbaren Supernovae, wie Keplers von 1604 und Tycho Brahes von 1572, spielten in der Entwicklung des astronomischen Weltbildes eine große Rolle. Heute steht unter anderem die Frage im Vordergrund, zu welchem Typ eine jeweilige Supernova gehört und wie die Explosion des Sterns abgelaufen ist. Supernova-Überreste in der Milchstraße spielen eine entscheidende

Rolle im Verständnis solcher kosmischen Explosionen, da sie aufgrund ihrer räumlichen Nähe detailliert beobachtet werden können. Einem Astronometeam unter Leitung des MPIA ist das Kunststück gelungen, das Licht der beiden historischen Supernovae aus den Jahren 1572 (Tycho Brahe) und 1680 (Cassiopeia A) »posthum« zu analysieren. Möglich wurde dies durch das Phänomen des Lichtechos. Hierbei erwies es sich, dass Tychos Supernova vom Typ Ia war, während Cas A zum Typ IIb zählte.

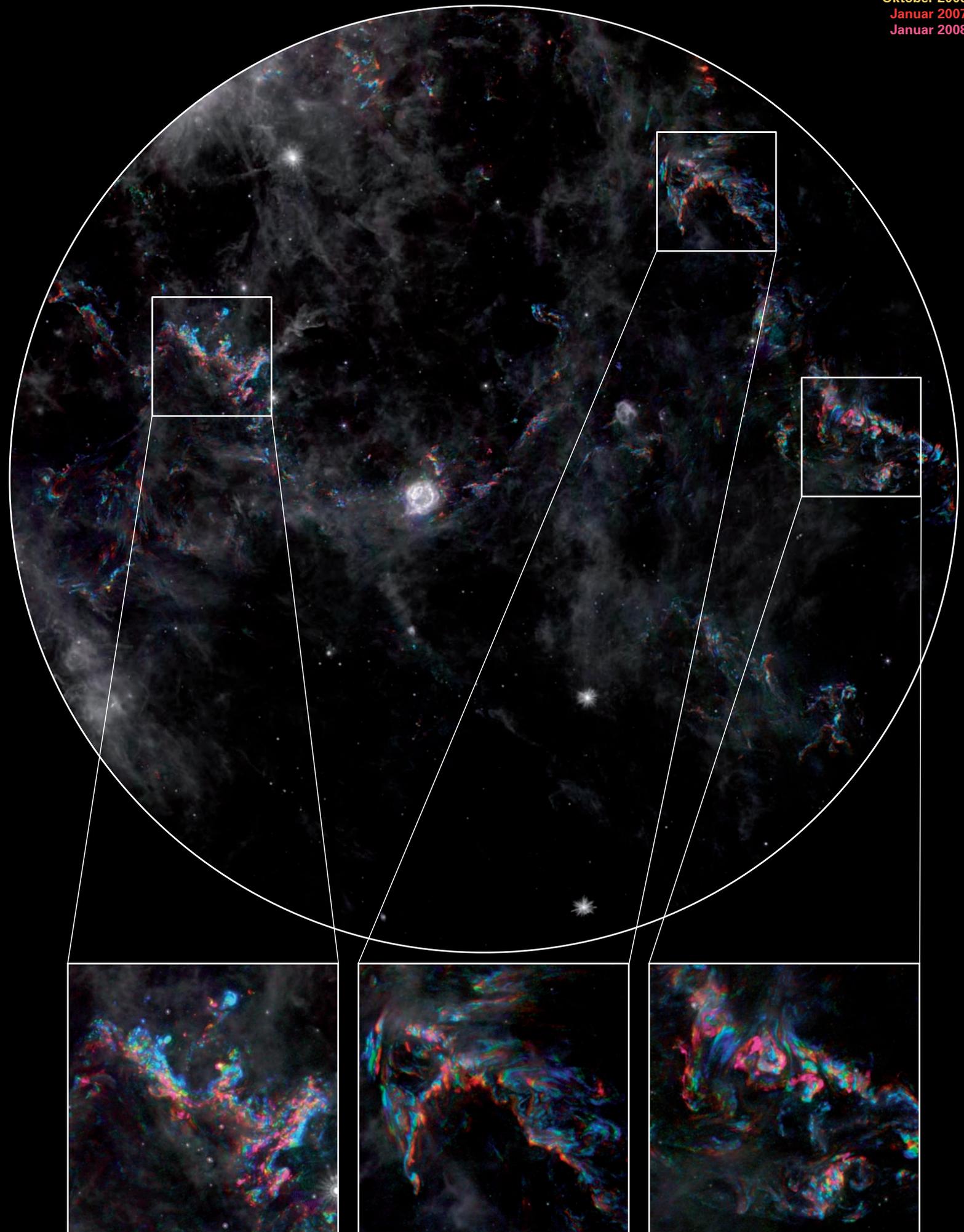
**Abb. II.1.1:** Dieses Bild ist eine Überlagerung dreier Aufnahmen des Supernova-Überrests Cas A, gewonnen mit den Weltraumteleskopen CHANDRA im Röntgenbereich (blau und grün kodiert), HUBBLE im Optischen (gelb) und SPITZER im mittleren Infrarot (rot). Das Zentralobjekt (im Kästchen) ist der nach der Explosion zurückgebliebene, nur im Röntgenbereich sichtbare Neutronenstern.

#### Cassiopeia A war eine Supernova vom Typ IIb

Cas A ist der jüngste bekannte Überrest der Supernova-Explosion eines massereichen Sterns in der Milchstraße. Er befindet sich in einer Entfernung von 11 000 Lichtjahren (Abb. II.1.1). Aus der Größe und



Termine:  
Februar 2005  
September 2005  
Februar 2006  
Oktober 2006  
Januar 2007  
Januar 2008



**Abb. II.1.2:** Montage von Infrarotaufnahmen des Weltraumteleskops SPITZER mit dem hellen, runden Supernova-Überrest in der Mitte und umgebenden interstellaren Staubwolken. Das Bild ist aus sechs über einen Zeitraum von drei Jahren aufgenommenen Einzelbildern zusammengesetzt. Unveränderte Infrarotstrahlung erscheint grau, während die aufgrund der Lichtechos zeitlich veränderliche Strahlung farbig kodiert ist. Blau entspricht dabei einem früheren, rot einem späteren Zeitpunkt. Der Radius des großen Kreises beträgt 200 Bogenminuten oder 650 Lichtjahre.

Expansionsgeschwindigkeit des Nebels ergibt sich ein Explosionsdatum um 1680. Erstaunlicherweise gibt es aus dieser Zeit keine zweifelsfreie Beobachtung dieses Ereignisses. Lediglich der an der Sternwarte Greenwich tätige Astronom John Flamsteed verzeichnete am 16. August 1680 in seiner Himmelskarte einen schwachen Stern – möglicherweise die explodierende Cas A.

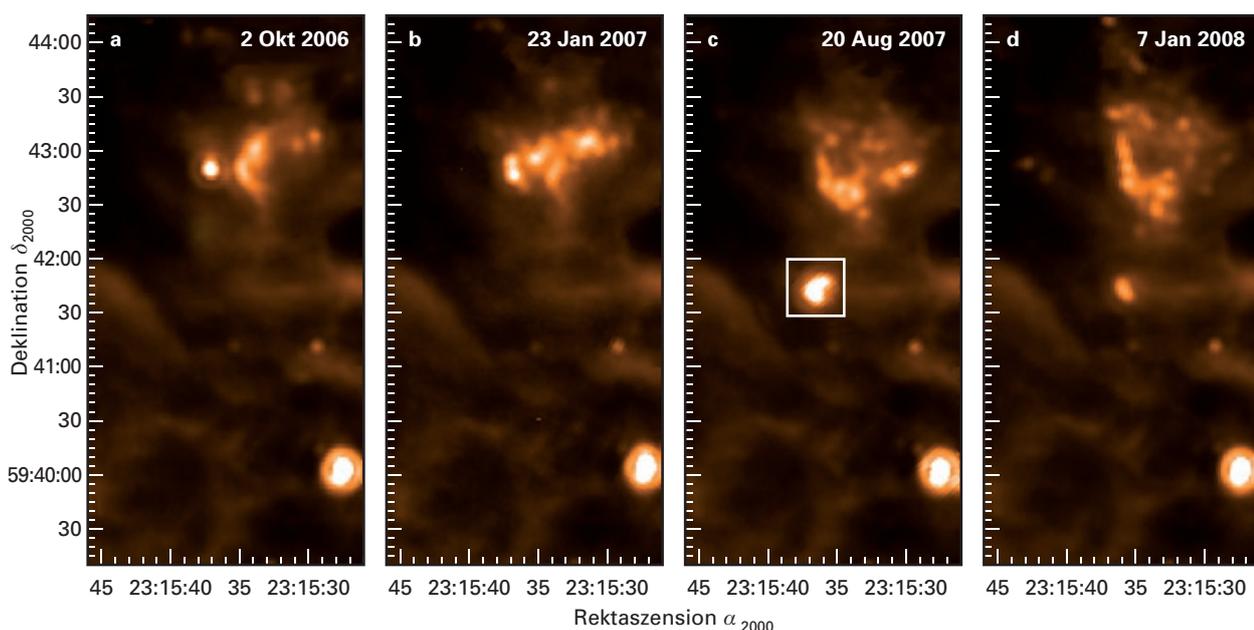
Im November 2003 entdeckten Oliver Krause vom MPIA und seine Mitarbeiter mit dem Weltraumteleskop SPITZER im mittleren Infraroten in der Umgebung des Supernova-Überrests Cas A interstellare Staubfilamente, die sich schnell zu bewegen schienen. Eine genaue Analyse zeigte, dass es sich um Lichtechos handelte. Der Lichtblitz der Supernova hatte weit entfernte Staubteilchen erreicht und erwärmt, die daraufhin thermische Infrarotstrahlung aussandten. Mit zeitlicher Verzögerung von mehr als 300 Jahren traf diese Strahlung nun auf der Erde ein (Jahresbericht 2005, Kap. II.1).

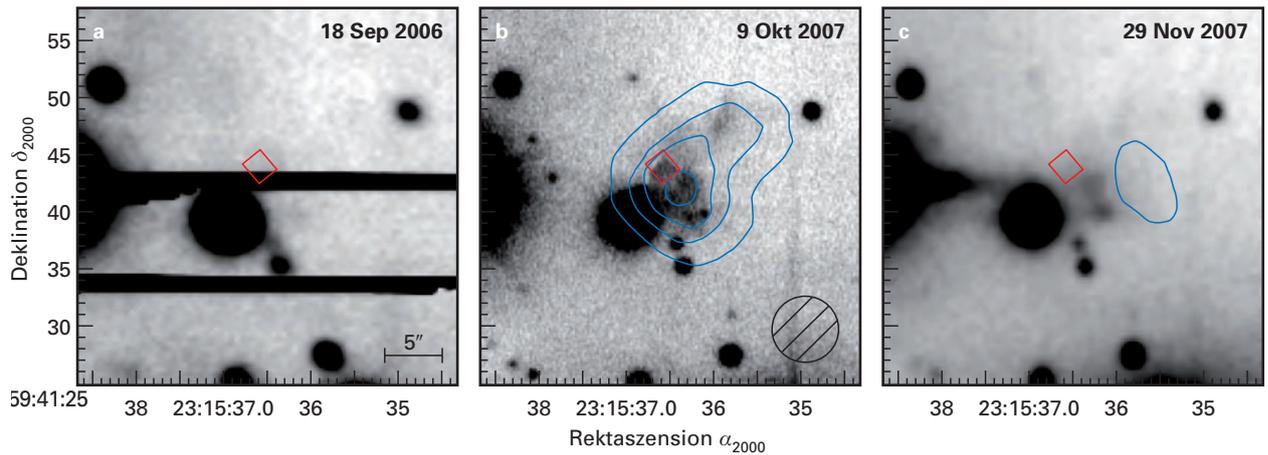
Die infraroten Lichtechos markieren die jeweilige Lage der von der Supernova ausgehenden, radial nach außen laufenden Lichtfront. Dieses Phänomen beobachteten die Astronomen mit SPITZER über mehrere Jahre hinweg (Abb. II.1.2) und nutzten es als Indikator, um die viel schwächeren Lichtechos im sichtbaren

Licht zu lokalisieren. Im August 2007 leuchtete in einer Staubwolke ein helles Infrarot-Lichtecho auf (Abb. II.1.3), das sich noch am 6. Oktober mit dem 2.2-Meter-Teleskop des Calar-Alto-Observatoriums auch im Optischen bei 650 nm Wellenlänge nachweisen ließ. Um eine tiefergehende Aufnahme und ein Spektrum dieses schwachen Lichtechos aufnehmen zu können, kontaktierten die Astronomen des Instituts Kollegen am japanischen 8,2-Meter-Teleskop SUBARU auf Hawaii. Da die Echos an einer Position am Himmel nur für wenige Wochen aufleuchten – so lange, wie die damalige Supernova etwa ihre maximale Helligkeit besaß – war schnelles Handeln geboten. Schon drei Tage später lag das Ergebnis vor.

Auf einer lang belichteten Aufnahme im R-Band wurde das Lichtecho sichtbar (Abb. II.1.4b), dessen Spektrum in Abb. II.1.5 gezeigt ist. Es weist zahlreiche Emissionslinien mit Absorptionströgen (P-Cygni-Profilen) auf. Diese für expandierenden Gashüllen typischen Merkmale belegen, dass das Lichtecho von dem Supernova-Blitz erzeugt worden ist. Prominent erscheint die Wasserstofflinie  $H\alpha$  mit einer Halbwertsbreite von 17 000 km/s und einer blauverschobenen Absorption mit einem Minimum bei  $-11\,000$  km/s. Diese Merkmale sind für Supernovae vom Typ II charakteristisch. Eine solche Supernova entsteht, wenn der Zentralbereich eines massereichen Sterns am Ende seines Lebens zu einem Neutronenstern zusammenbricht, wobei die äußere Wasserstoffhülle abgesprengt wird. Im Fall von Cas A betrug deren Expansionsgeschwindigkeit etwa 10 000 km/s.

**Abb. II.1.3:** Aufnahmen eines staubreichen Gebiets mit SPITZER zu verschiedenen Zeiten. Im Teilbild C ist das Lichtecho (weißes Quadrat) deutlich erkennbar.





**Abb. II.1.4:** Drei Aufnahmen des Lichtechos vom Oktober 2007 mit dem SUBARU-Teleskop. Im Teilbild b sind in blau die Konturen des Infrarotechos eingetragen, hier ist auch das optische Lichtecho erkennbar. In dem Bereich des kleinen roten Quadrats wurde das in Abb. II.1.5 gezeigte Spektrum gewonnen.

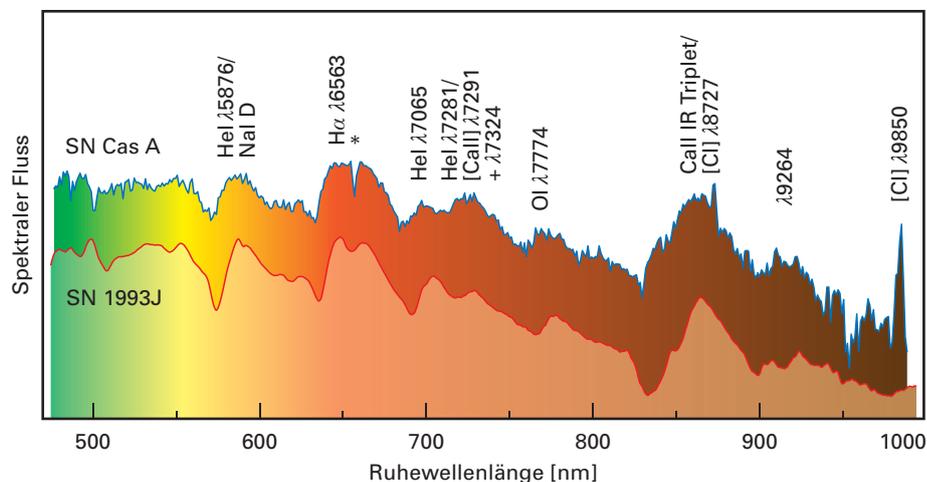
Die Existenz schwacher Heliumlinien lässt den Typ der Supernova noch genauer auf IIb eingrenzen. Bei dieser seltenen Art hat der Stern zum Zeitpunkt der Explosion bereits einen großen Teil seiner äußersten Wasserstoffhülle ins All abgestoßen, so dass ein darunter befindlicher, nahezu »nackter« Heliumkern in Erscheinung tritt. Diese Interpretation konnte durch einen Vergleich mit dem Spektrum der Typ-IIb-Supernova SN 1993J in M 81 bestätigt werden. In diesem Fall wird als Vorläuferstern ein Roter Überriese mit einer Hauptreihenmasse von 13 bis 20 Sonnenmassen vermutet.

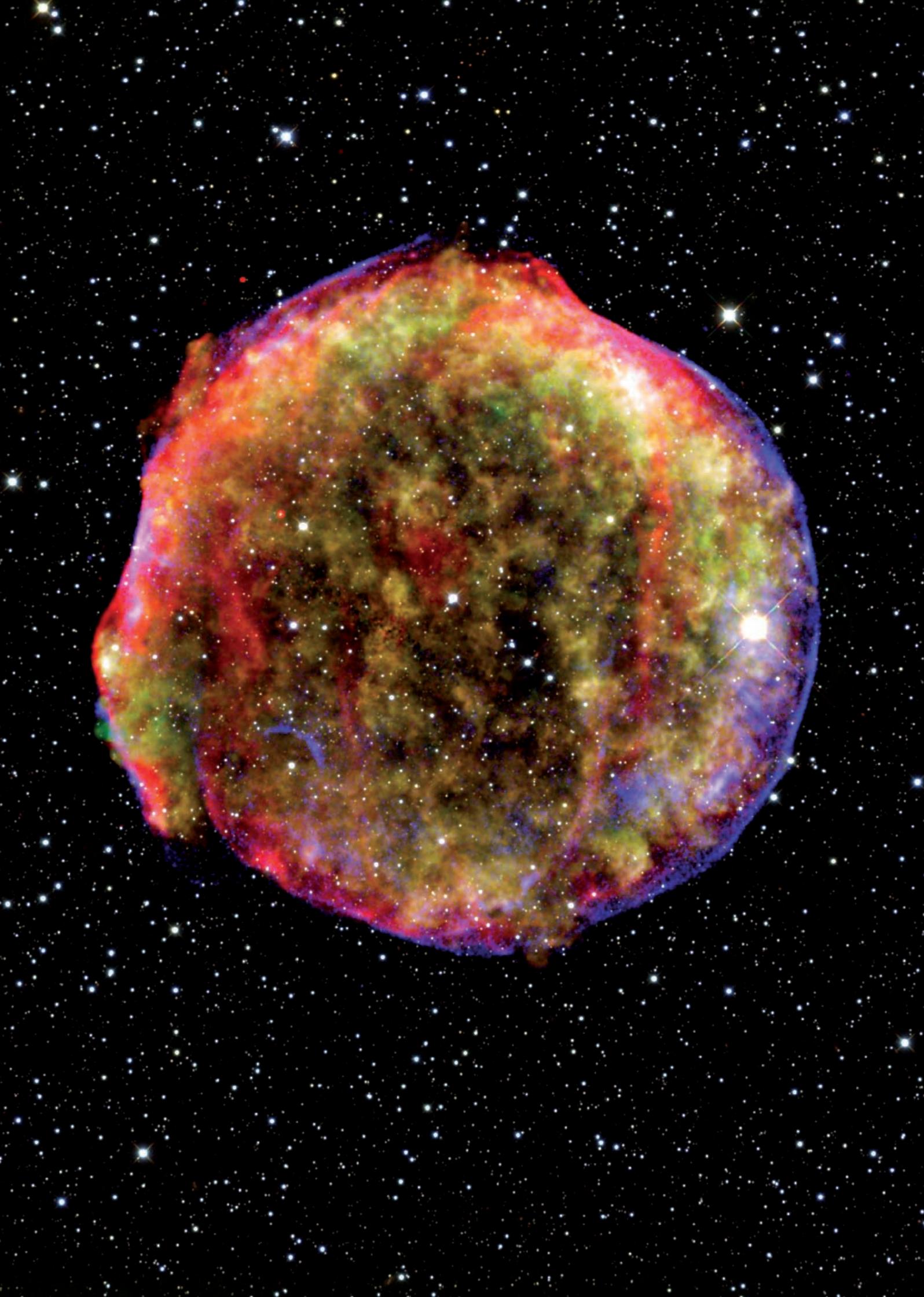
**Abb. II.1.5:** Spektrum des Lichtechos in Cas A, verglichen mit demjenigen der Typ-IIb-Supernova 1993J. Deutlich sind die charakteristischen, breiten Emissionslinien von Wasserstoff und Helium zu erkennen.

Bei SN 1993J konnte zehn Jahre nach der Explosion nachgewiesen werden, dass es sich ursprünglich um ein Doppelsternsystem gehandelt hat. Darin hat wahrscheinlich der Vorläuferstern Materie an den Begleiter verloren, bevor er explodierte. Eine solche Entwicklung legen zumindest Modellrechnungen nahe. Diese Situation könnte auch auf Cas A zugetroffen haben. Da man dort aber bislang keinen Begleiter des übrig gebliebenen Neutronensterns gefunden hat, ist es denkbar, dass die beiden Partner eines engen Doppelsternsystems miteinander verschmolzen sind, bevor sie explodierten.

Nebenbei liefert diese neue Erkenntnis auch eine mögliche Erklärung dafür, dass Cas A damals nicht beobachtet wurde: Supernovae vom Typ IIb verlieren besonders schnell an Helligkeit – ein paar bewölkte Nächte könnten deshalb eine weit verbreitete Sichtung verhindert haben.

**Abb. II.1.6:** (rechts) Tycho's Supernova, aufgenommen am Calar-Alto-Observatorium mit dem 3,5-m-Teleskop im Infraroten (weiße Sterne) sowie mit den Weltraumteleskopen SPITZER (rot) und CHANDRA (grün und gelb). Die äußere Stoßwelle zum interstellaren Medium erscheint als blauer Ring von Synchrotronstrahlung hochenergetischer Elektronen.





Die trickreiche Lichtechnik bietet nun die einzigartige Möglichkeit, die damalige Explosion auch dreidimensional detailliert zu studieren. Hierfür müssen weitere Lichtechnos beobachtet werden, die unter verschiedenen Sichtwinkeln zum Zentrum des Supernova-Überrests entstanden sind: Daraus lässt sich ein räumliches Modell der damaligen Explosion konstruieren. Das Team um Oliver Krause führt gegenwärtig solche Beobachtungen durch und versucht dem Ursprung von solchen Asymmetrien, wie sie sich heute im Überrest von Cas A beobachten lassen, auf den Grund zu kommen.

### Tychos Supernova war vom Typ Ia

Bereits ein halbes Jahr nach der Veröffentlichung der Lichtechno-Beobachtungen bei Cas A konnten Oliver Krause und Kollegen von einer weiteren Entdeckung mit dieser Methode berichten. In diesem Fall ging es um Tycho Brahes Supernova. Sie leuchtete im November 1572 an unserem Himmel auf und wurde so hell, dass sie für zwei Wochen sogar bei Tage zu sehen war. Die »Stella nova«, wie Brahe sie nannte, verschwand schließlich wieder im April des Jahres 1574.

Mit einer bislang angenommenen Entfernung von 7500 bis 9000 Lichtjahren steht uns der Überrest von Tychos Supernova (Abb. II.1.6) sogar noch etwas näher als Cas A. Analysen der historischen Aufzeichnungen von der Helligkeits- und Farbentwicklung hatten schon vor Jahren zur Vermutung geführt, es habe sich damals

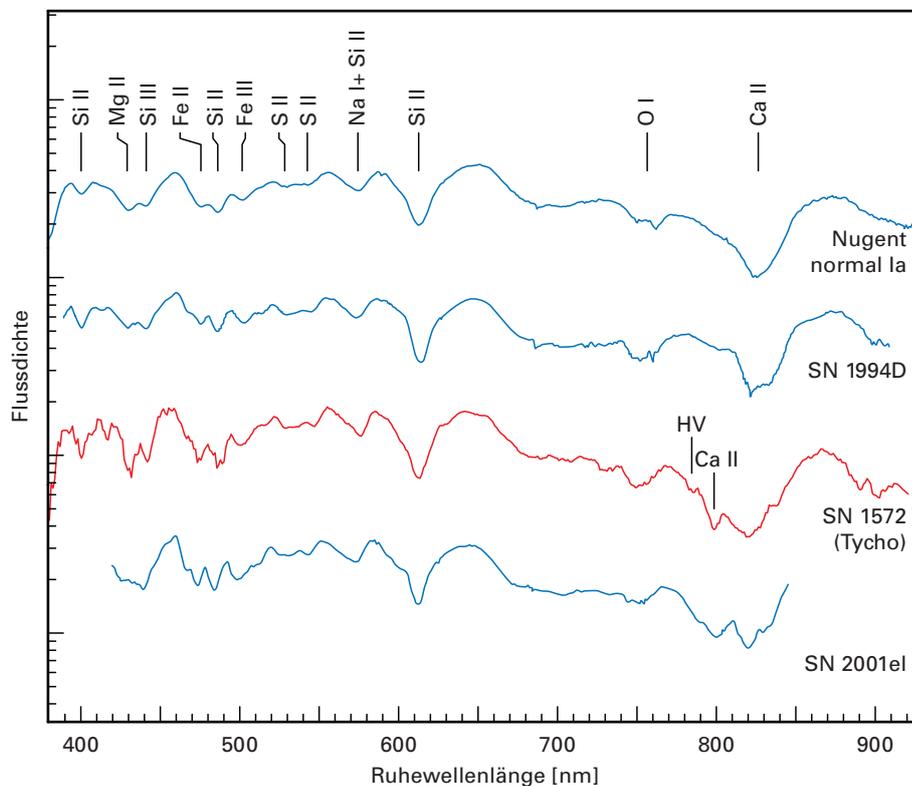
um eine Supernova vom Typ Ia gehandelt. Allerdings ließen sich auch Supernovae vom Typ Ib oder II-L nicht ausschließen.

Ermutigt durch die Erfolge bei Cas A suchte das Team um Oliver Krause nun bei Tychos Supernova nach Lichtechnos, um die Frage nach dem Typ zu klären. Tatsächlich wurden sie am 23. August und 2. September 2008 mit dem 2,2- und 3,5-Meter-Teleskop des Calar-Alto-Observatoriums fündig. Wie schon bei Cas A gelangen am 24. September mit SUBARU eine tiefe Aufnahme und ein Spektrum dieses Lichtechnos (Abb. II.1.7).

Die Spektren von Supernovae des Typs Ia weisen im Gegensatz zu denen vom Typ II keine Wasserstoff-Emissionslinien auf, und sie unterscheiden sich von Spektren des Typs Ib und Ic durch eine deutliche Absorption von Silizium (Si II bei 635,5 nm). Beide Merkmale treffen auf das Spektrum des Lichtechnos zu, womit klar erwiesen ist, dass Tychos Supernova vom Typ Ia ist. Aus den Spektrallinien lässt sich ableiten, dass sich die Explosionswolke damals mit etwa 12 000 km/s vom Stern fortbewegt hat.

Supernovae vom Typ Ia ereignen sich in Doppelsternsystemen, in denen die Hauptkomponente ein Weißer Zwerg ist. Dieser akkretiert von seinem Begleiter Materie,

**Abb. II.1.7.:** Das Spektrum des Lichtechnos von Tychos Supernova (rot) stimmt in allen wichtigen charakteristischen Linien mit den Spektren anderer klassischer Supernovae vom Typ Ia überein. Besonders deutlich ist die starke Absorption von Si II. Die Linie von Ca II (HV Ca II) stammt vermutlich von einer asymmetrischen Explosion.



die sich auf seiner Oberfläche ansammelt. Dadurch erhöht sich der Druck im Inneren des Weißen Zwerges so lange, bis es zu einer thermonuklearen Explosion kommt. Im Jahre 2004 wurde nahe des Zentrums möglicherweise der Begleitstern dieses Weißen Zwerges gefunden.

In dem Spektrum von Tychos Supernova gibt es eine Besonderheit, die man bei normalen Typ-Ia-Supernovae nicht findet: eine stark blauverschobene Absorptionslinie des ionisierten Kalziums (HV Ca II bei 798,0 Nanometern Wellenlänge), deren Doppler-Verschiebung einer Expansionsgeschwindigkeit von bis zu 30 000 km/s entspricht. In dieser Stärke und Geschwindigkeit wurde diese Linie bisher bei Supernovae vom Typ Ia nur sehr selten beobachtet. Dies war zum Beispiel der Fall bei SN 2001el. Dort konnte sie auf eine asymmetrische Explosion des Sterns zurückgeführt werden. Die Ursache hierfür ist indes unklar: Entweder war der

Begleitstern hierfür in irgendeiner Weise verantwortlich, oder die Explosion selbst verlief nicht sphärisch symmetrisch.

Nun steht der genaue Typ von zwei der drei letzten bekannten Supernovae in unserer Milchstraße zweifelsfrei fest. Es ist bis heute völlig offen, ob der dritte Ausbruch der letzten 500 Jahre, Keplers Supernova von 1604, vom Typ I oder II ist. Mit Hilfe des MPG/Eso-2,2-m-Teleskops auf La Silla sucht das Team um Oliver Krause gegenwärtig auch hier nach Lichtechos und hofft, auch dieses Rätsel in Kürze zu lösen.

*Oliver Krause, Stephan Birkmann, Miwa Goto.  
In Zusammenarbeit mit:  
University of Tokyo,  
National Astronomical Observatory of Japan,  
Steward Observatory, Tucson (USA)*

## II.2 Doppelte Braune Zwerge – eine spektroskopische Studie

**Braune Zwerge nehmen in Bezug auf ihre Massen und physikalischen Eigenschaften einen Übergangsbereich zwischen Sternen und Planeten ein. Das macht sie in vielerlei Hinsicht zu besonders interessanten Forschungsobjekten. Insbesondere ist nicht abschließend geklärt, auf welche Weise Braune Zwerge entstehen. Ihre Häufigkeit in Doppelsystemen kann im Vergleich zu derjenigen von Sternen Aufschluss über diese Frage geben. Viki Joergens, eine Astronomin am MPIA, hat in der Sternentstehungsregion Chamaeleon I im Rahmen einer spektroskopischen Studie erstmals den gesamten Abstandsbereich von Braunen Zwergen in engen Doppelsystemen mit gegenseitigen Abständen von bis zu drei Astronomischen Einheiten untersucht. Das Ergebnis: Die geringe Zahl solcher Doppelsysteme schließt an einen Trend bei massearmen Sternen an und unterstützt die Hypothese, dass Braune Zwerge auf dieselbe Weise wie Sterne entstehen, nämlich bei dem Kollaps interstellarer Wolken.**

Die Massen Brauner Zwerge liegen zwischen 0,013 und 0,07 Sonnenmassen (entsprechend 13 und 75 Jupitermassen). Im Laufe ihrer Entstehung steigen in ihrem Innern Temperatur und Druck nicht weit genug an, um die Fusion von Wasserstoff zünden zu können. Es »brennt« nur für kurze Zeit eine Deuterium-Tritium-Fusion, die jedoch bald wieder aussetzt. Danach kühlen die Objekte langsam aus. Unterhalb von etwa 13 Jupitermassen ist auch das Deuterium-Tritium-Brennen nicht mehr möglich. Diesen Massenbereich überdecken die Planeten, Asteroiden und Monde.

Seit der ersten Entdeckung eines Braunen Zwergs im Jahre 1995 sind mehrere hundert weitere hinzu gekommen. Doch es gibt noch kein einheitlich akzeptiertes Entstehungsszenario für sie. Derzeit werden mehrere Möglichkeiten diskutiert.

Eine naheliegende Vermutung ist, dass Braune Zwerge wie Sterne aus dem Kollaps interstellarer Wolken entstehen, lediglich auf kleinerer Skala. Numerische Simulationen stoßen jedoch auf Probleme, Körper so geringer Masse auf diesem Wege entstehen zu lassen. Deswegen werden weitere Szenarien diskutiert, in denen das Wachstum vorzeitig abbricht. Dies kann entweder dadurch geschehen, dass heiße Sterne mit ihrer intensiven UV-Strahlung das protostellare Material in der Umgebung zum Verdampfen bringen, bevor es sich vollständig auf dem entstehenden Stern ansammelt. Denkbar ist auch, dass bei der Wechselwirkung mit anderen im Werden begriffenen Sternen die masseärmsten unter ihnen aus der Wolke herausgeschleudert werden, bevor sie die für Sterne erforderliche Mindestmasse

erreicht haben. Dieser Vorgang wird auch als embryonales Herausschleudern (embryo ejection) bezeichnet. Denkbar erscheint es aber auch, dass Braune Zwerge wie Planeten in zirkumstellaren Scheiben entstehen. Anschließend werden sie, zum Beispiel durch einen nahe vorbeiziehenden Stern in einem dicht bevölkerten Sternentstehungsgebiet, aus ihrem ursprünglichen System herauskatapultiert.

Diese Szenarien liefern Aussagen über die Häufigkeit und die Eigenschaften Brauner Zwerge in Doppelsystemen. Sollte embryonales Herausschleudern der vorwiegende Entstehungsweg sein, so sollte es nur wenige Braune Zwerge in engen Doppelsystemen geben. Entstehen sie aber auf dieselbe Art wie Sterne, so sollten sich die Eigenschaften der doppelten Braunen Zwerge übergangslos an diejenigen der massearmen Sterne anschließen.

Die geringe Leuchtkraft der Braunen Zwerge macht die Suche nach Doppelsystemen unter ihnen zu einer sehr anspruchsvollen Aufgabe, die nur mit den größten und besten optischen Teleskopen möglich ist. Die meisten Durchmusterungen dieser Art beruhen auf Direktaufnahmen mit hoher räumlicher Auflösung und haben zu folgenden Ergebnissen geführt: Nur 10 bis 30 Prozent der Braunen Zwerge und sehr massearmen Sterne (weniger als 0,1 Sonnenmasse) befinden sich in Doppelsystemen – ein wesentlich geringerer Anteil als bei massereicheren Sternen. Die meisten der gefundenen Systeme haben Bahnabstände im Bereich von 3 bis 10 AE. Die beiden Komponenten der Systeme besitzen ähnliche Massen: Bei Dreiviertel aller Paare liegt das Massenverhältnis zwischen 0,8 und 1. Auch Astronomen des MPIA kamen 2002 zu einem solchen Schluss (Jahresbericht 2002, Kap. II.1).

Diese Ergebnisse müssen jedoch mit Vorsicht betrachtet werden. Mit der direkten Abbildung können nämlich weder enge Systeme nachgewiesen werden, in denen die beiden Komponenten weniger als 2 bis 3 AE voneinander entfernt sind, noch solche, in denen das Massenverhältnis weniger als etwa 0,6 beträgt. Daher blieb es unklar, ob das Häufigkeitsmaximum bei Abständen von mehr als 3 AE wirklich echt ist, oder ob nicht vielmehr die meisten doppelten Braunen Zwerge in dem bisher nicht untersuchten Bereich unterhalb von 3 AE zu finden sind.

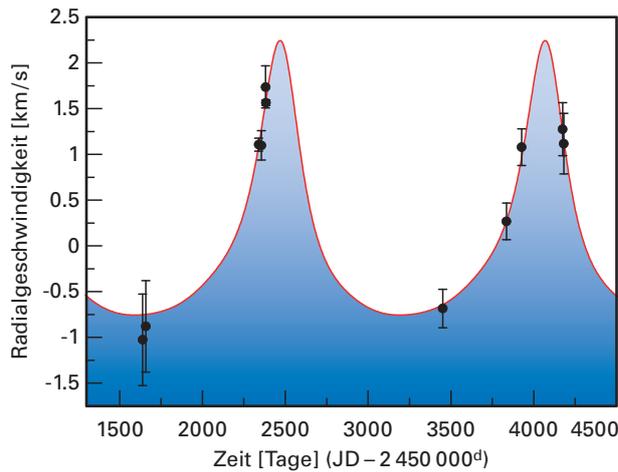
**Abb. II.2.1:** (*rechts*) Diese Aufnahme des Sternentstehungsgebietes Chamaeleon I entstand 1999 mit dem VLT und der Kamera FORS I. Es ist eine Überlagerung von Aufnahmen in den Filtern V, R und I. (Bild: Eso)



### Braune Zwerge im Sternentstehungsgebiet Chamaeleon I

Diese Frage lässt sich derzeit nur mit hochauflösender Spektroskopie beantworten. Doch dies erfordert große Anstrengungen. So wundert es nicht, dass bislang überhaupt nur vier enge spektroskopische doppelte Braune Zwerge entdeckt wurden, deren Bahnelemente sich ermitteln ließen. Einen von ihnen, Chamaeleon

Ha 8, entdeckten im Jahre 2007 die beiden MPIA-Astronomen Viki Joergens und André Müller im Sternentstehungsgebiet Chamaeleon I (Abb. II.2.1 und II.2.2). Die Sekundärkomponente von Cha Ha 8 ist wahrscheinlich der masseärmste Braune Zwerg, der bislang in einem engen Doppelsystem gefunden wurde. Es könnte sich sogar um einen Planeten handeln. Beide Körper umrunden einander auf einer stark ellip-



**Abb. II.2.2:** Die periodische Änderung der Radialgeschwindigkeit von Cha Ha 8 verrät den unsichtbaren Begleiter.

tischen Bahn mit 1 AE Halbachse und einer Periode von 4,4 Jahren. Außerdem fand Joergens schon 2006 bei dem Stern CHXR 74, dessen Masse weniger als 0,25 Sonnenmassen beträgt, einen engen Begleiter mit einer Umlaufperiode von mehr als zwölf Jahren.

Diese Entdeckungen gelangen mit dem Echelle-Spektrographen UVES am Very Large Telescope (VLT) der Eso. Zur Bestimmung der Häufigkeit doppelter Brauner Zwerge ist die Untersuchung mehrerer Objekte über einen langen Zeitraum nötig. Wegen zu kleiner Zeitbasis oder großer Messgenauigkeit haben solche spektroskopischen Studien von Braunen Zwergen bisher jedoch nur Abstände kleiner als 0,6 AE erfasst.

Mit präzisen Nachfolgebeobachtungen von zehn Braunen Zwergen und CHXR 74 am VLT konnte Joergens 2008 die Zeitbasis auf fast sechs Jahre verlängern und damit zum ersten Mal die Häufigkeit enger Paare Brauner Zwerge im Bereich von 3 AE und darunter ermitteln.

Es fanden sich jedoch, außer den bereits bekannten Cha Ha 8 und CHXR 74, im Rahmen der Messgenauigkeit keine weiteren Doppelsysteme. Damit ergibt eine erste Analyse, dass sich zwei von elf in Chamaeleon I untersuchten Braunen Zwergen, also 18 (+20, -12) Prozent, in einem Doppelsystem befinden. Rechnet man CHXR 74 als massearmen Stern nicht mit, so sinkt der Anteil auf einen von zehn, entsprechend 10 (+18, -8) Prozent.

Entscheidend war darüber hinaus die Frage, in welchem Abstandsbereich die Untersuchung empfindlich war. Dies hängt von der zeitlichen Wiederholungsrate der Beobachtungen sowie von der Empfindlichkeit und Genauigkeit der Messwerte ab. Der mittlere Messfehler betrug  $\pm 0,3$  km/s, während der zeitliche Abstand und die Häufigkeit der Beobachtungen individuell verschieden waren. Sechs Objekte wurden in einem zeitlichen Abstand von 20 Tagen und mit einer Wiederholung nach

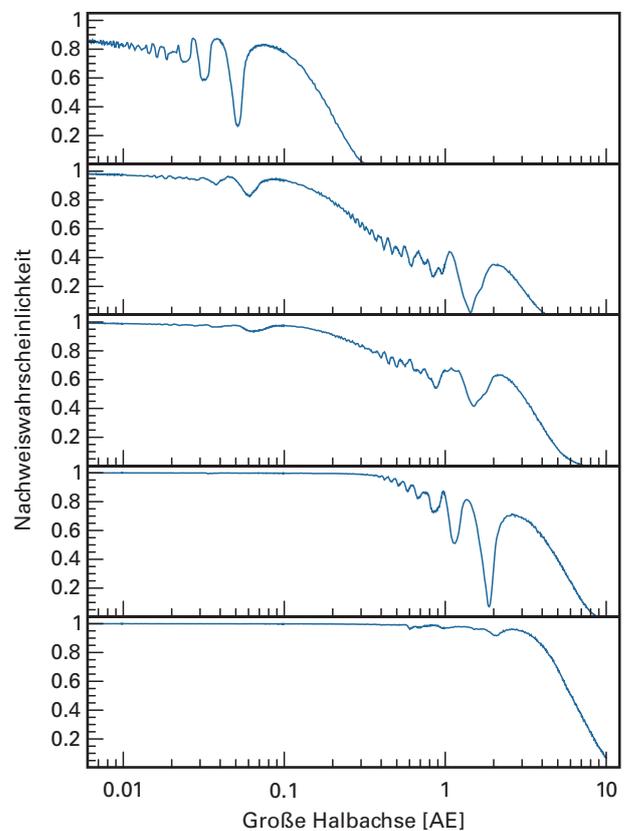
5,8 Jahren beobachtet, die übrigen wurden häufiger beobachtet, mit Wiederholungen innerhalb von zwei bis sieben Jahren.

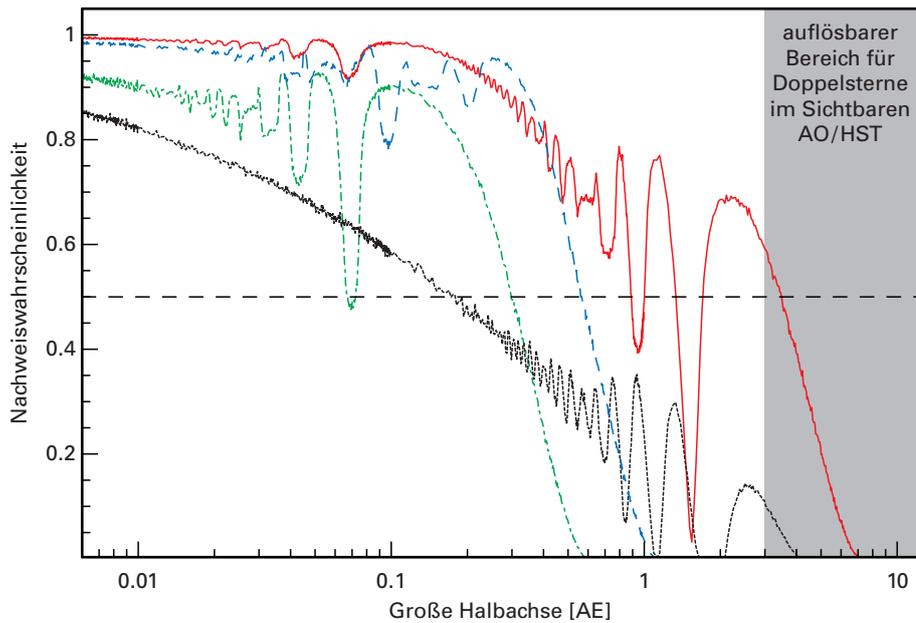
Diese Daten gingen in eine Monte-Carlo-Simulation ein, bei der 100 000 doppelte Braune Zwerge simuliert wurden, die einander auf Kreisbahnen mit Radien zwischen 0,006 und 10 AE umkreisen. Das Massenverhältnis wurde zwischen 0,2 und 1,0 variiert, und unterschiedliche Neigungswinkel der Bahnen gegen die Sichtlinie wurden zugelassen.

Diese Analyse wurde auf jedes der elf beobachteten Objekte angewandt. Das Ergebnis (Abb. II.2.3) zeigt, dass die Beobachtungen den gesamten Abstandsbereich unterhalb von 3 AE durchschnittlich mit einer Nachweiswahrscheinlichkeit von 50 Prozent abdecken. Damit wurde zum ersten Mal die Häufigkeit von Braunen Zwergen und sehr massearmen Sternen über den gesamten Abstandsbereich mit einer derartigen Empfindlichkeit untersucht, wie ein Vergleich mit anderen spektroskopischen Durchmusterungen zeigt (Abb. II.2.4).

Damit schließt die neue Untersuchung die Existenz eines bislang unentdeckten, großen Anteils an sehr engen Paaren Brauner Zwerge aus. Es wurde kein ein-

**Abb. II.2.3:** Nachweiswahrscheinlichkeit von Begleitern in Abhängigkeit vom gegenseitigen Abstand. Solche Kurven wurden mit Monte-Carlo-Simulationen für jeden individuell beobachteten Braunen Zwerg errechnet.





**Abb. II.2.4:** Nachweiswahrscheinlichkeit von Doppelsystemen für mehrere Studien. Die hier beschriebene Untersuchung am MPIA (*rot*) ist insbesondere bei geringen Abständen die empfindlichste. In dem grau schraffierten Bereich erfolgten die auf Direktaufnahmen basierenden Durchmusterungen mit adaptiver Optik oder mit dem Weltraumteleskop HUBBLE.

ziger Kandidat mit einer Umlaufperiode von weniger als vier Jahren beziehungsweise einer großen Halbachse von weniger als 1 AE gefunden. Auch die Häufigkeit

von Doppelsystemen von 10 Prozent fügt sich gut in die Ergebnisse ein, die mittels Direktaufnahmen erzielt wurden.

Damit setzen Braune Zwerge einen Trend fort, den man bei Sternen beobachtet: Der Anteil an Doppelsystemen sinkt mit abnehmender Masse. Dieses Ergebnis unterstützt die These, dass sich Braune Zwerge auf dieselbe Weise bilden wie Sterne.

*Viki Joergens, André Müller*



## II.3 Die Dynamik der Sternentstehung in NGC 346

**Die Sternentstehung in großen Molekülwolken ist kein isoliertes Phänomen, sondern wirkt auf die Umgebung ein und kann die Entstehung weiterer Sterne anstoßen: Die neugeborenen massereichen Sterne erzeugen mit ihrer UV-Strahlung HII-Regionen, und ihre Teilchenwinde fegen große Blasen frei, an deren Stoßfronten sich wiederum Gas und Staub verdichten. Auf welche Weise solche Rückkopplungen ein ganzes Sternentstehungsgebiet erzeugen können, zeigt das Beispiel NGC 346 in der Kleinen Magellanschen Wolke. Astronomen des MPIA rekonstruierten zusammen mit Kollegen aus den USA die komplexe Geschichte dieser Region.**

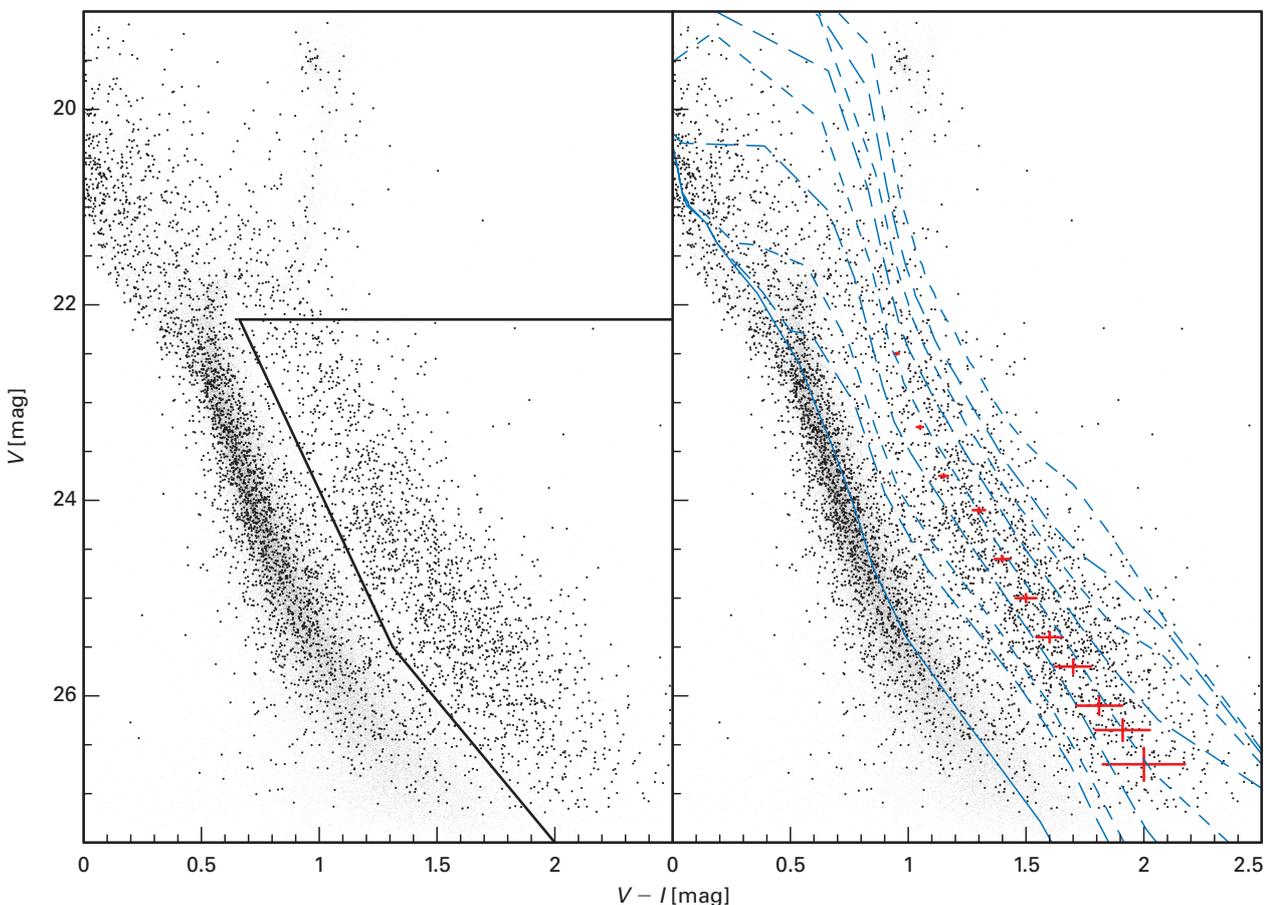
NGC 346 ist das hellste Sternentstehungsgebiet in der 210 000 Lichtjahre entfernten Kleinen Magellanschen Wolke (Small Magellanic Cloud, SMC). Damit verbun-

**Abb. II.3.1:** (links) Die Sternentstehungsregion NGC 346, aufgenommen mit der Kamera ACS des Weltraumteleskops HUBBLE bei den Wellenlängen 555 nm (blau dargestellt) und 814 nm (rot) (Nota et al., NASA/ESA).

den ist die hellste HII-Region namens LHA 115-N 66 oder kurz N 66. Deren Leuchtkraft ist im Bereich der  $H\alpha$ -Emissionslinie fast 60-mal so groß wie die des Orionnebels. Mit 33 nachgewiesenen O- und B-Sternen enthält der im Zentrum des Nebels sitzende Sternhaufen auch die größte bekannte Konzentration an heißen, massereichen Sternen in der SMC.

Bei früheren Untersuchungen fand man in einem länglichen, auf den Sternhaufen zentrierten Gebiet, das sich von Südosten nach Nordwesten erstreckt (auch Balken genannt), Emission von molekularem Wasserstoff und Kohlenmonoxid. Weitere Beobachtungen im nahen

**Abb. II.3.2:** Aus der in Abb. II.3.1 gezeigten Aufnahme leiteten Astronomen des MPIA dieses Farben-Helligkeits-Diagramm ab, in dem sich die massearmen Vorhauptreihensterne leicht identifizieren lassen (Punkte unten rechts im linken Diagramm). Darin lässt sich das Alter der Vorhauptreihensterne durch Vergleich mit theoretischen Isochronen (gestrichelte Linien im rechten Diagramm) auf 5 bis 10 Millionen Jahre eingrenzen.



Infrarot führten zu der Vermutung, dass die jungen Sterne innerhalb dieses Balkens nicht alle gleichzeitig, sondern in mehreren Episoden entstanden sind, wobei sich die Sternentstehungsaktivität vom Zentrum des Balkens ausgehend nach Südosten und Nordwesten ausgebreitet haben sollte.

Einen großen Fortschritt brachte dann die Auswertung archivierter, mit dem Weltraumteleskop HUBBLE gewonnener Aufnahmen durch das Team um Dimitrios Gouliermis, Thomas Henning, Wolfgang Brandner, Eva Hennekemper und Felix Hormuth (Abb. II.3.1). Diese Aufnahmen zeigten zum ersten Mal eine Fülle von massereichen Vorhauptreihensternen mit einem typischen Alter von nur 5 Millionen Jahren (Abb. II.3.2).

Mit statistischen Methoden wiesen die Astronomen nach, dass diese Sterne nicht gleichmäßig im Raum verteilt sind, sondern mehrere Gruppen bilden. Allerdings bestätigte eine photometrische Analyse aller jungen Sterne nicht die frühere Behauptung einer sequenziellen Sternentstehung. Andere Faktoren, wie Rötung des Lichts, unerkannte Doppelsterne und Variabilität, führen zu einer Verbreiterung der Sternverteilung im Farben-Helligkeits-Diagramm. Dies kann eine falsche

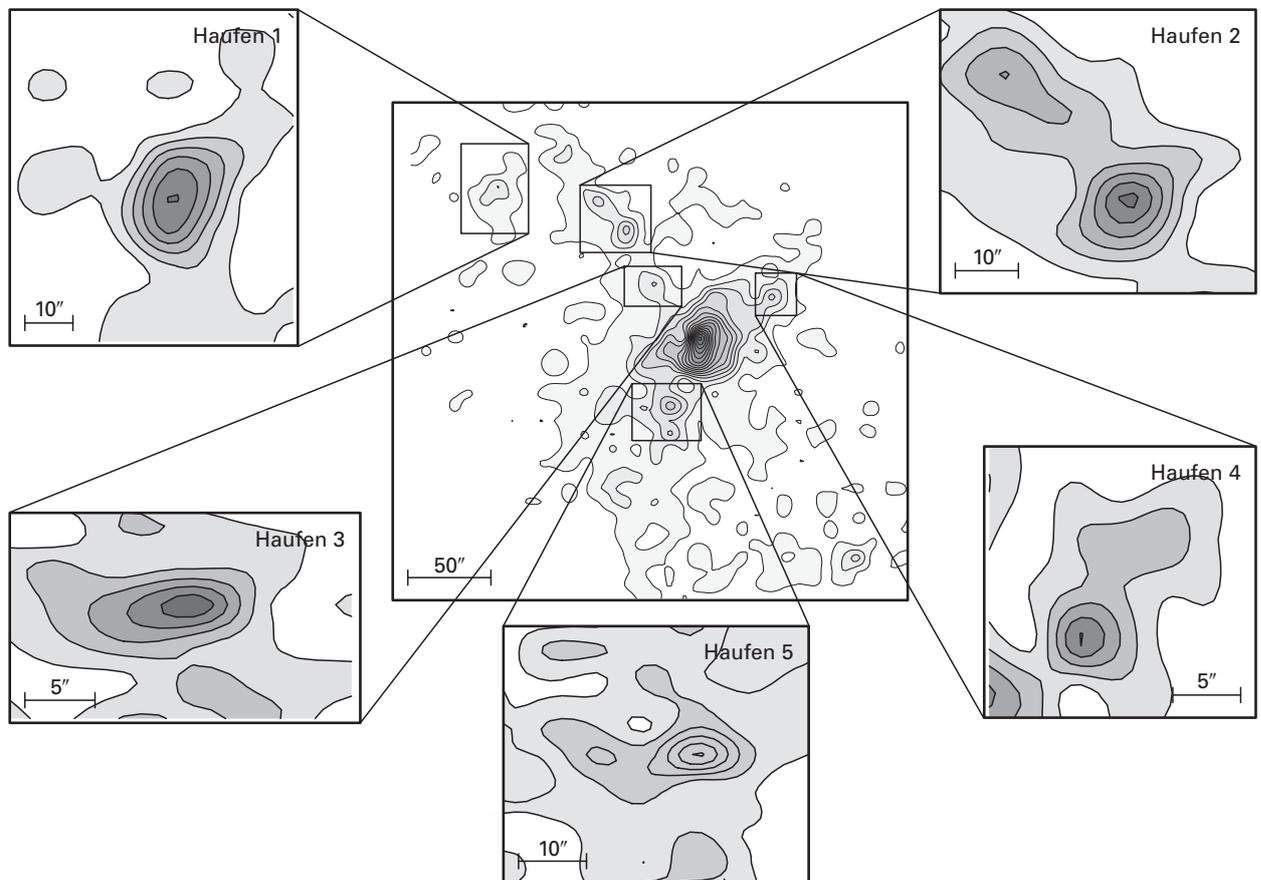
Einschätzung des Alters der Sterne zur Folge haben. Die Astronomen kommen zu dem Schluss, dass die Sterne im Balken von NGC 346 alle innerhalb der letzten zehn Millionen Jahre entstanden sind. Mit den Daten wären auch zwei unterschiedliche Sternentstehungsperioden vereinbar, die fünf und zehn Millionen Jahre zurückliegen.

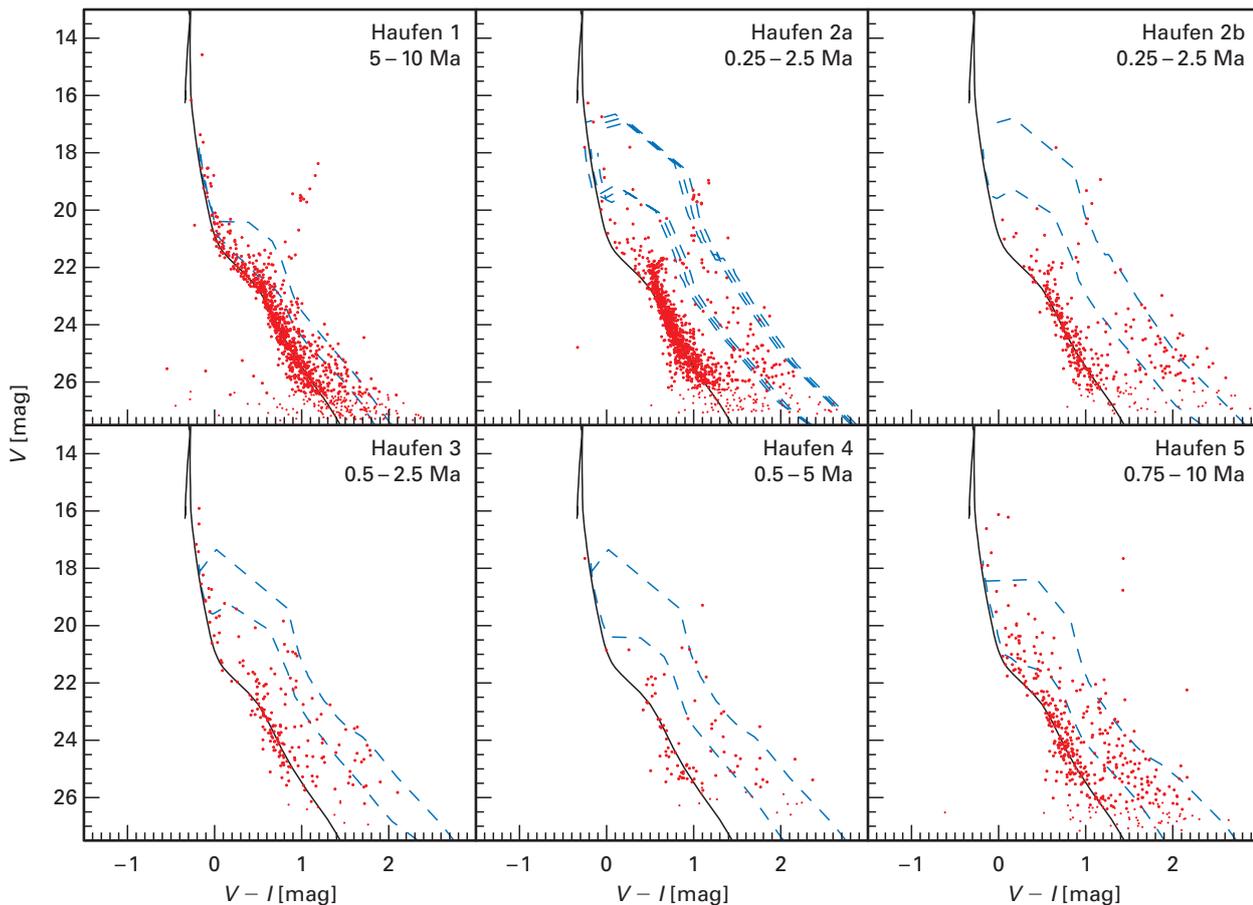
### Massereiche Sterne lösten Sternentstehung aus

Dagegen entdeckten Gouliermis und Kollegen nördlich des Balkens drei kompakte, wesentlich jüngere Sternhaufen, deren Alter nur 2,5 Millionen Jahre beträgt (Abb. II.3.3 und II.3.4). Dieser Befund lässt sich nicht in das erwähnte Szenario einfügen, wonach sich die Sternentstehung vom Zentrum des Balkens ausgehend nach außen hin fortgepflanzt hat. Eine detaillierte Untersuchung dieser nördlich gelegenen jungen Sternhaufen führte auf eine wesentlich komplexere Geschichte dieses Sternentstehungsgebietes als bis dahin angenommen.

Weiterhin zeigte eine H $\alpha$ -Aufnahme (Abb. II.3.5) neben den Sternen im Balken deutlich zwei kompakte Haufen nördlich davon sowie eine Ansammlung junger Sterne in einem bogenförmigen Gebiet, das sich von Südwesten nach Nordosten erstreckt. Alle Sterne in die-

**Abb. II.3.3:** Konturliniendarstellung der Dichte der jungen Sterne im gesamten Bereich von NGC 346/N 66.





**Abb. II.3.4:** Farben-Helligkeits-Diagramme der Sterne in unterschiedlichen Haufen. Die Haufen 2 und 3 im Nordosten sind deutlich jünger als Haufen 5 im Balken.

sem nördlichen Bereich sind wesentlich jünger als diejenigen im Balken.

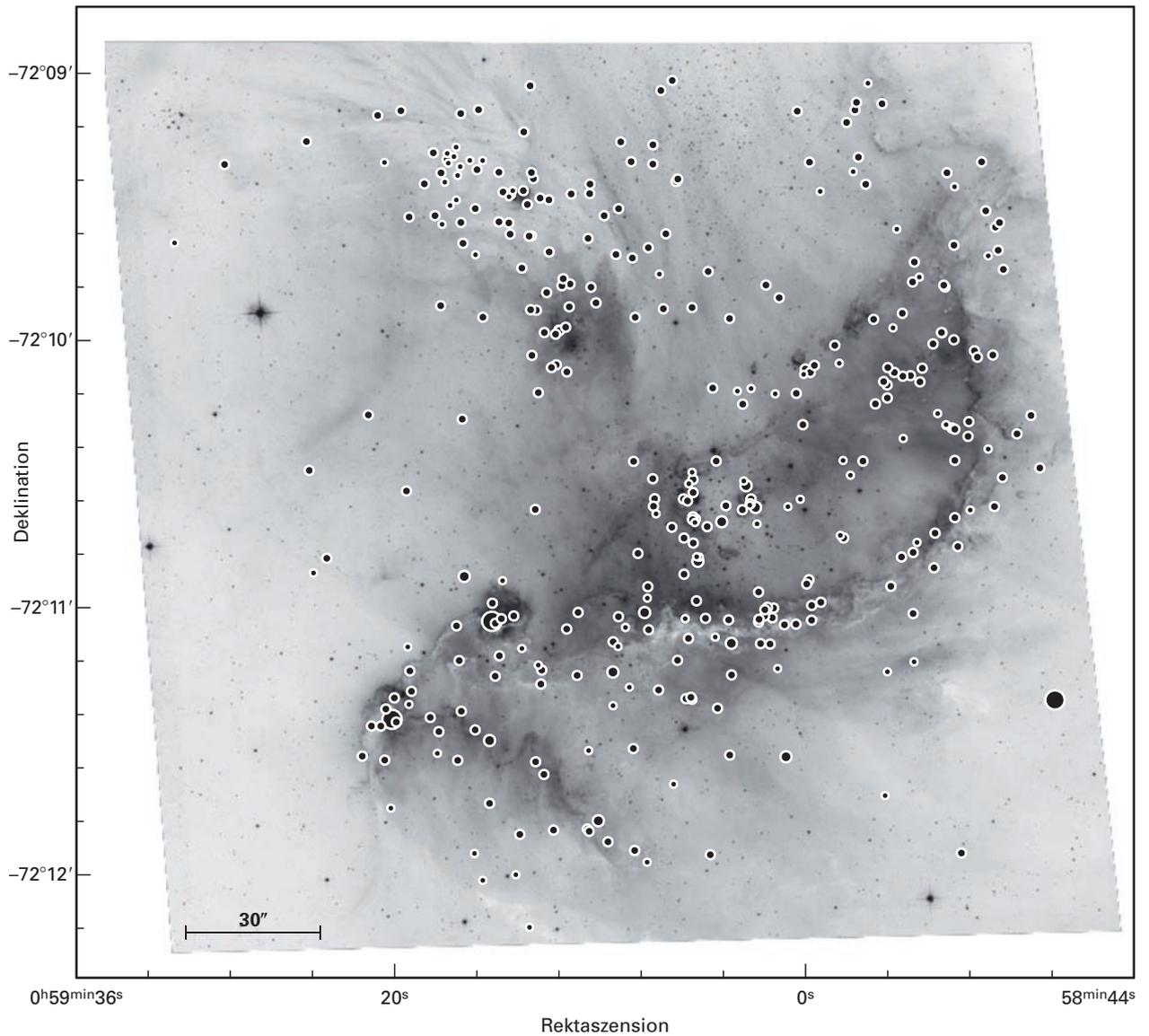
Den entscheidenden Hinweis auf die Entstehungsgeschichte dieser jungen Sterne brachte eine Überlagerung von drei Archivaufnahmen aus sehr unterschiedlichen Wellenlängenbereichen (Abb. II.3.6): eine Röntgenaufnahme des Weltraumteleskops XMM-NEWTON (in Blau dargestellt), eine Aufnahme im Licht der Linie des zweifach ionisierten Sauerstoffs [OIII] bei 501 nm (Grün), gewonnen mit dem NTT-Teleskop der ESO, und eine Infrarotaufnahme des Weltraumteleskops SPITZER bei 8  $\mu\text{m}$  Wellenlänge (Rot).

Zunächst einmal erkennt man in Abb. II.3.6 im Süden ein bogenförmiges Staubfilament (in Abb. II.3.7 orange dargestellt). Es kennzeichnet die Ionisationsfront, welche die bekannten OB-Sterne im Zentrum von NGC 346 mit ihrer intensiven UV-Strahlung und den Teilchenwinden erzeugt haben. Der nördlich davon gelegene, stark gekrümmte Bogen kann jedoch mit diesen Sternen ursächlich nichts zu tun haben. Auf ihm liegen die nur 2,5 Millionen Jahre alten Sternhaufen 2a, b und 3. Was ist seine Ursache?

Etwa im Brennpunkt dieses Bogens liegen, 60 Lichtjahre von den jungen Sternhaufen entfernt, die im Röntgenbereich besonders hellen Objekte HD 5980 und B0057-724: Sie liefern den Schlüssel zu der Sternentstehungsgeschichte des nördlichen Teils von NGC 346/N 66.

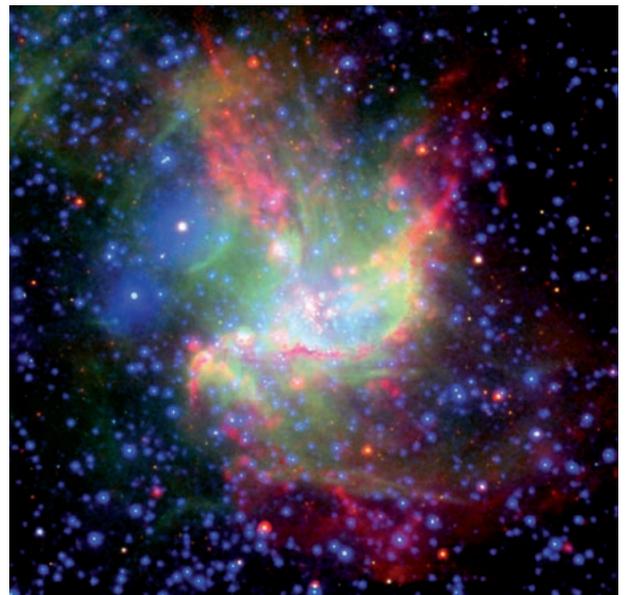
HD 5980 ist ein Dreifachsystem, bestehend aus zwei Wolf-Rayet-Sternen mit 50 und 28 Sonnenmassen und einem massereichen O-Stern. Dieses auch als Sanduleak 78 (Sk 78) bekannte Objekt hatte 1994 einen Ausbruch, wie man ihn von Hellen Blauen Veränderlichen (Luminous Blue Variables, LBV) her kennt. Das unweit davon gelegene Objekt B0057-724 ist ein Supernovaüberrest, worauf insbesondere nichtthermische Emission hinweist.

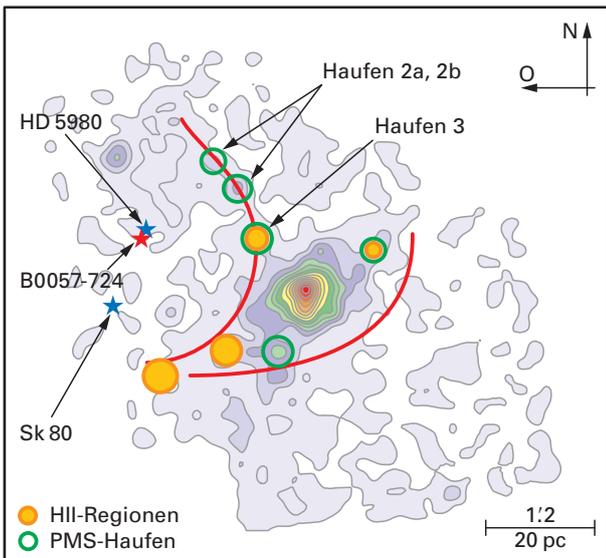
Einige Astronomen hatten bereits vermutet, die Druckwelle der Supernovaexplosion könnte der Auslöser für die Sternentstehung nördlich des Balkens gewesen sein, doch das ist nicht möglich. Der Supernovaüberrest dehnt sich zur Zeit mit 175 km/s aus und hätte die 2,5 Mio. Jahre alten Sternhaufen bereits nach 40000 Jahren erreicht. Die Supernova müsste demnach vor mehr als 2,5 Millionen Jahren explodiert sein, um die Entstehung dieser Sterne ausgelöst haben zu können. Supernovaüberreste können aber nur bis zu einem Alter von etwa 100000 Jahren nachgewiesen werden. Dagegen könnte der Vorläuferstern der Supernova sehr wohl die Sternentstehung ausgelöst haben.



**Abb. II.3.5:** H $\alpha$ -Aufnahme von NGC 346, gewonnenen mit den Kameras ACS und WFC des Weltraumteleskops HUBBLE. Sterne mit H $\alpha$ -Exzess sind mit weißen Kreisen markiert.

**Abb. II.3.6:** Überlagerung von Aufnahmen der Weltraumteleskope SPITZER im Infraroten (rot dargestellt) und XMM-NEWTON im Röntgenlicht (blau) sowie des New Technology Telescope der Eso im Licht der [OIII]-Emission (grün). Im Infraroten leuchtet der kühle Staub, im Sichtbaren und im Röntgenlicht strahlt mehr oder weniger heißes interstellares Gas. Normale Sterne erscheinen blau mit weißem Zentrum. (ESO/ESA/JPL-Caltech/Nasa/MPIA)





**Abb. II.3.7:** Grafik der relevanten Objekte in NGC 346. Die Konturlinien zeigen die Dichteverteilung aller Sterne.

Ein massereicher Stern beeinflusst seine Umgebung auf zwei Arten: Zum einen ionisiert seine UV-Strahlung die Umgebung und erzeugt eine HII-Region, deren Ionisationsfront sich mit etwa 10 km/s ausbreitet. Zum anderen fegt sein Teilchenwind eine Blase frei, die mit 10 bis 100 km/s expandiert. An der Stoßfront dieser Blase verdichtet sich das interstellare Medium und kann dann zu neuen Sternen kollabieren. In dieser Phase entwickelt sich der Stern von der Hauptreihe fort und wird zunächst zu einem Blauen Überriesen, dann zu einem LBV und weiter zu einem Wolf-Rayet-Stern. Wenn letzterer schließlich als Supernova explodiert, breitet sich der Supernovaüberrest in die bereits vorhandene Blase hinein aus. Im Falle von B0057-724 explodierte die Supernova vor 40 000 Jahren, sofern der nordöstliche Bogen, auf dem die jungen Sternhaufen liegen, die

Stoßfront dieses Überrestes ist. Hat der Vorläufer dieser Supernova allein die Sternentstehung angeregt?

Eine genaue Untersuchung des Sternfeldes um NGC 346 liefert nur zwei weitere mögliche Kandidaten: den bereits beschriebenen Dreifachstern HD 5980 (Sk 78) und den weiter südlich gelegenen O7-Überriesen Sk 80. Eine Abschätzung der mechanischen Leuchtkräfte ergab für Sk 78 etwa  $2,6 \times 10^{31}$  J/s und für Sk 80 mit  $3 \times 10^{29}$  J/s nur rund ein Hundertstel davon. Über den Vorläuferstern von B0057-724 ist nichts bekannt. Doch vermutlich wird er nicht mehr als ein Zehntel der Leuchtkraft des Dreiersystems HD 5980 erreicht haben. Dennoch könnte er allein die Entstehung der jungen Sterne ausgelöst haben, und zwar dann, wenn er innerhalb kurzer Zeit in extremen Ausbrüchen 20 bis 30 Sonnenmassen an Materie abgestoßen hat. Ein solches Verhalten ist für LBVs wie Eta Carinae charakteristisch.

Die hier dargestellte Studie hat zu einem komplexeren Bild der Sternentstehungsgeschichte in NGC 346/N 66 geführt als bisher angenommen. Demnach gibt es zwei Keimzellen der Sternbildung: Zunächst entstand im Zentrum des Nebels vor zehn Millionen Jahren ein großer Sternhaufen. Denkbar wären hier zwei Sternbildungsepisoden im Abstand von fünf Millionen Jahren. Während im Balken die neuen Sterne entstanden, leuchteten in der nordöstlichen Region der massereiche Stern Sk 78 und der Vorläuferstern von HD 5980 auf. Sie komprimierten mit ihren Teilchenwinden das umgebende Medium und lösten damit vor 2,5 Millionen Jahren die Entstehung weiterer Sterne aus.

In Zusammenarbeit mit theoretischen Astrophysikern an der Universität Heidelberg versuchen die Astronomen des MPIA nun, die Struktur einzelner Sternhaufen sowie die Gesamtstruktur der Sternentstehungsregion NGC 346 besser zu verstehen. Weiterhin soll die Auswertung von im nahen Infrarot mit dem Eso New Technology Telescope aufgenommenen Daten das Verständnis der Sternentstehungsgeschichte in NGC 346 vervollständigen.

*Dimitrios Gouliermis, Thomas Henning,  
Wolfgang Brandner, Eva Hennekemper, Felix Hormuth.  
In Zusammenarbeit mit:  
University of Illinois, Urbana-Champaign (USA)*

## II.4 Kelu-1 – ein Doppel- oder Dreifachsystem von Braunen Zwergen

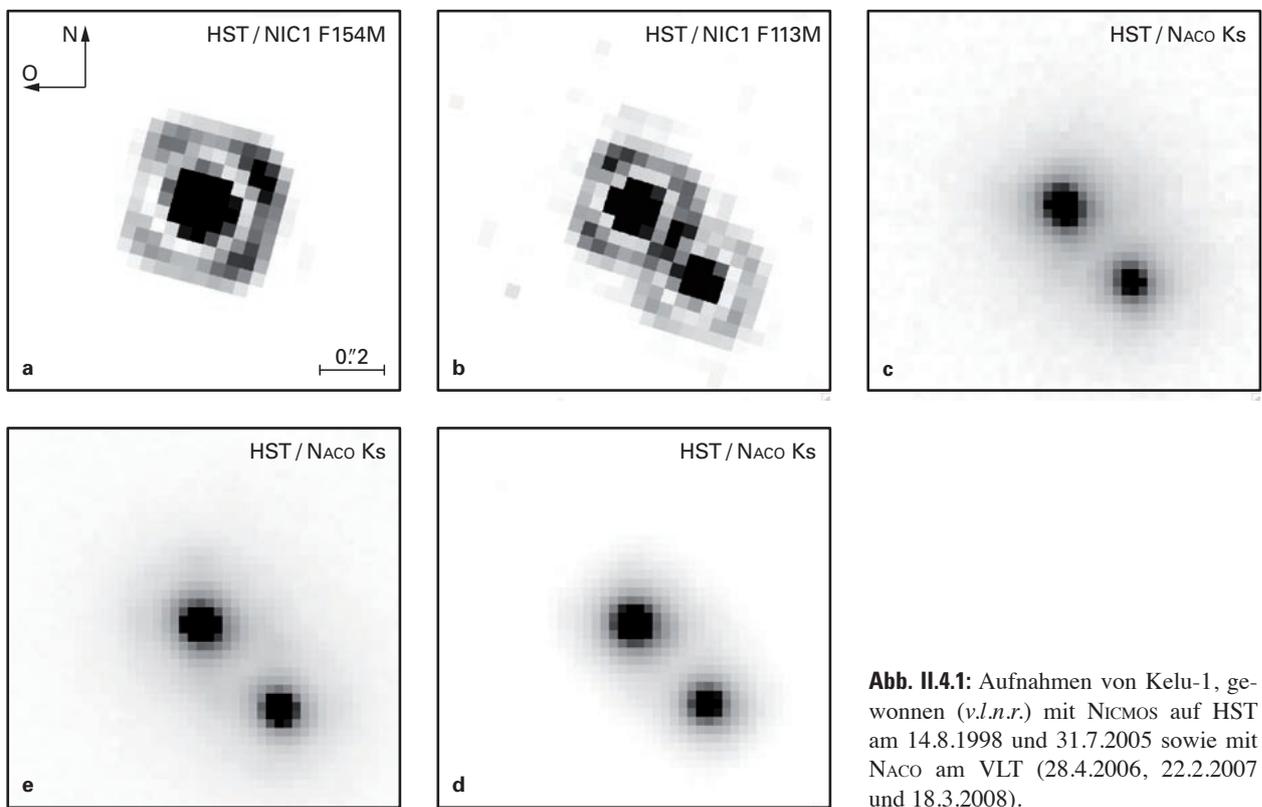
**In der Umgebung der Sonne sind viele hundert Braune Zwerge bekannt. Vermutlich sind sie ebenso häufig wie Hauptreihensterne. Doch die Modelle zu Aufbau und Entwicklung dieser Objekte sind noch längst nicht so zuverlässig wie die der Sterne. Räumlich aufgelöste Doppelsysteme von Braunen Zwergen bieten hier eine einzigartige Möglichkeit, die Masse unabhängig von Modellen zu ermitteln. Doch solche Fälle sind rar. Einer Gruppe des MPIA ist es gelungen, die Bahnparameter und Massen der Braunen Zwerge Kelu-1A und B zu ermitteln. Der Vergleich mit diesen Messungen zeigt: Erneut liefern die Modelle eine signifikant zu kleine Masse. Die beobachteten Spektren legen zudem die Existenz eines unsichtbaren dritten Braunen Zwerges nahe.**

Die Masse ist der bedeutendste Parameter der Sternentwicklung, sie entscheidet unter anderem über Leuchtkraft, Temperatur und Lebensdauer. Ihre Bestimmung gehört daher zu den fundamentalen Aufgaben der Astronomie. Doch meist misst man die Leuchtkraft eines Sterns und ermittelt daraus die Masse indirekt über eine Masse-Leuchtkraft-Beziehung. Diese Beziehung ist für entwi-

ckelte massereiche Sterne gut etabliert, ließ sich jedoch bislang für Braune Zwerge nicht kalibrieren. Hier ist man gänzlich auf Entwicklungsmodelle angewiesen.

Im Gegensatz zu den Sternen erreichen Braune Zwerge nie das Stadium des hydrostatischen Gleichgewichts. Sie sind bei ihrer Entstehung heiß und kühlen dann – nach einer kurzen Phase des Deuteriumbrennens – langsam aus. Bei Beobachtungen bleibt deshalb immer eine Mehrdeutigkeit zwischen Temperatur, Leuchtkraft, Masse und Alter. Einfach gesagt: Ein junger massearmer Brauner Zwerg und ein alter massereicher Brauner Zwerg lassen sich voneinander kaum unterscheiden. Das System Kelu-1 bietet die Möglichkeit, die physikalischen Größen der beiden bekannten Komponenten unabhängig von Modellen zu bestimmen.

Das 1997 entdeckte, nur 60 Lichtjahre entfernte Objekt gehört zu den am ausgiebigsten untersuchten Braunen Zwergen. Sein Alter lässt sich schwer ermitteln, weil es keiner Sterngruppe angehört. Schon früh fiel auf, dass seine Leuchtkraft wesentlich höher war, als man es aufgrund seines Spektrums erwarten würde. Dieses Rätsel konnte 2005 gelöst werden, als mehrere Astronomengruppen, darunter auch eine vom MPIA,



**Abb. II.4.1:** Aufnahmen von Kelu-1, gewonnen (v.l.n.r.) mit NICMOS auf HST am 14.8.1998 und 31.7.2005 sowie mit NACO am VLT (28.4.2006, 22.2.2007 und 18.3.2008).

feststellten, dass es sich um ein Doppelsystem handelt. Damals ermittelte man den Spektraltyp L1.5-L3 für die Komponente Kelu-1A und L3-L4.5 für Kelu-1B.

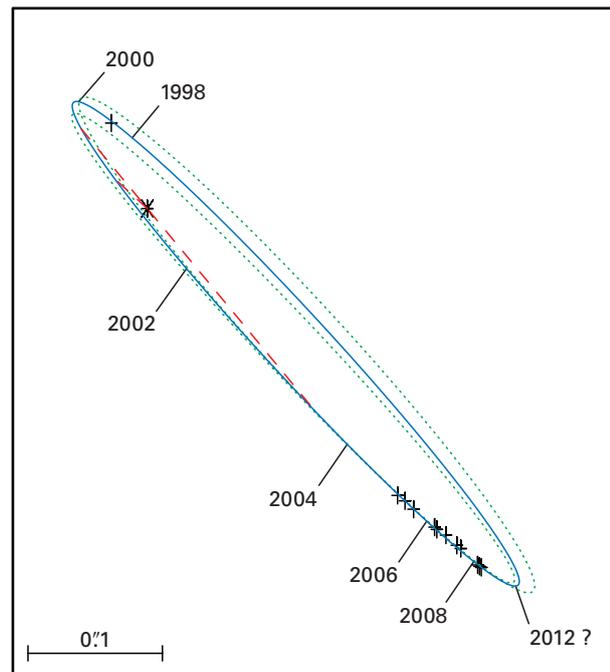
Mit einem gegenseitigen Abstand von etwa 0.3 Bogensekunden lassen sich die beiden Komponenten mit hoch auflösenden Teleskopen trennen, so dass sich an diesem System die Möglichkeit eröffnete, die Bahnparameter zu messen und daraus die gemeinsame (dynamische) Masse zu bestimmen. Die Forscher des MPIA starteten deshalb ein langfristig angelegtes photometrisches und spektroskopisches Beobachtungsprogramm. Für ihre Analyse verwendeten sie auch eigene, 2005 mit dem Weltraumteleskop HUBBLE erhaltene Daten. Außerdem beobachteten sie Kelu-1 am Very Large Telescope mit der am MPIA entwickelten und gebauten Infrarotkamera CONICA mit adaptiver Optik. Damit konnten sie zudem als Erste separate Spektren der beiden Komponenten Kelu-1A und B in den Wellenlängenbereichen von 1,37 bis 1,72  $\mu\text{m}$  sowie 2,02 bis 2,53  $\mu\text{m}$  aufnehmen. Dieses Datenmaterial überdeckte die Zeit von 2005 bis 2008. Auch eine HUBBLE-Aufnahme aus dem Jahre 1998 konnte noch ausgewertet werden (Abb. II.4.1).

### Umlaufbahn, Massenwerte und Spektraltypen

Das MPIA-Team konnte den bereits vorliegenden Positionsbestimmungen neun weitere hinzufügen. Die Daten ließen sich am besten durch eine stark elliptische Bahn mit einer Exzentrizität von 0,82 beschreiben, die um 85 Grad gegen die Himmelsebene geneigt ist. Das heißt, wir blicken fast genau auf die Kante der Bahnebene (Abb. II.4.2). Umlaufdauer und große Halbachse ergaben sich zu 38 Jahren und 6.4 Astronomischen Einheiten. Aus diesen Daten ließ sich die Gesamtmasse zu 177 (+113, -55) Jupitermassen berechnen. Das ist die erste Massenbestimmung dieses Systems auf rein dynamischer Grundlage und ohne Zuhilfenahme eines Entwicklungsmodells für Braune Zwerge. Sie liegt erheblich über den älteren, auf weniger Datenpunkten basierenden Werten von maximal 120 Jupitermassen. Daraus ergibt sich ein Problem.

Astronomen hatten bereits 1997 in dem gemeinsamen Spektrum von Kelu-1A und B eine Lithium-Absorptionslinie gefunden. Diese lässt sich nach derzeitigen Modellen nur damit erklären, dass eine der beiden Komponenten höchstens 65 Jupitermassen besitzt. Damit besäße die andere Komponente 110 Jupitermassen und wäre ein M8V-Hauptreihenstern, denn die Massenobergrenze für Braune Zwerge beträgt etwa 75 Jupitermassen. Die Existenz eines solchen Sterns lässt sich aber aufgrund des Spektrums ausschließen.

Eine Lösung dieses Problems sehen die Forscher des MPIA in der Annahme, dass es sich bei Kelu-1A um einen unaufgelösten doppelten Braunen Zwerg handelt. Kelu-1 wäre also ein Dreifachsystem. Die nachfol-

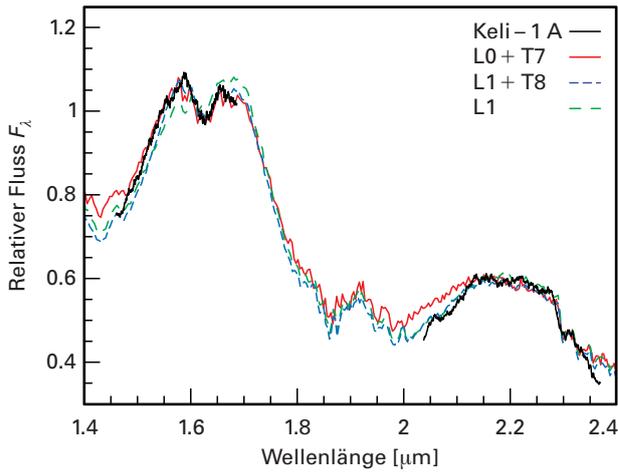


**Abb. II.4.2:** Umlaufbahn von Kelu-1A und B (blau). Der Bereich mit 90 Prozent Confidence ist grün gepunktet, die Knotenlinie erscheint rot gestrichelt.

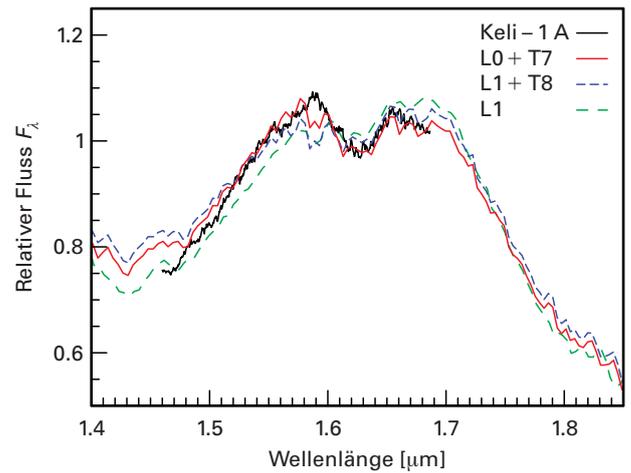
gend geschilderte Analyse der Spektren unterstützt diese Hypothese.

Das mit NACO gewonnene Nahinfrarotspektrum von Kelu-1A (Abb. II.4.3) passt recht gut zu einem Braunen Zwerg vom Spektraltyp L0 bis L1. Untypisch für L0 ist allerdings eine ausgeprägte Absorption um 1,62  $\mu\text{m}$ . Ein solches Merkmal findet man normalerweise nur bei T-Zwergen, wo es durch  $\text{CH}_4$  verursacht wird. Deshalb versuchten die Astronomen, das Spektrum als Summe von zwei unterschiedlichen Spektren zu erklären. Dazu kombinierten sie je ein Spektrum der Spektralklasse M8 bis L4 mit einem der Spektralklasse T2 bis T8. Die beste Anpassung ergab sich aus der Überlagerung der Spektren eines L0.5- und eines T7.5-Zwerges. In diesem Fall wäre die leuchtkräftigere Komponente, abhängig von der Wellenlänge, um drei bis fünf Größenklassen heller als der leuchtschwächere Begleiter.

Das Spektrum der zweiten Komponente Kelu-1B bereitet noch mehr Probleme, weil es um 1,6  $\mu\text{m}$  einen für Braune Zwerge untypischen »Buckel« besitzt. Bis heute sind nur zwei weitere Braune Zwerge vom Typ L0 und L6 mit dieser Besonderheit bekannt. Die Ursache ist unbekannt, möglich erscheint eine ungewöhnlich große Häufigkeit schwerer Elemente (»Metalle«) und Staubwolken in der Atmosphäre oder eine geringe Gravitation. Die Astronomen des MPIA klassifizierten Kelu-1B als ungewöhnlichen Braunen Zwerg vom Typ L3 pec. Hier ist auf jeden Fall weitere Forschung nötig, um die rätselhaften spektralen Merkmale klären zu können.



**Abb. II.4.3:** Das Infrarotspektrum von Keli-1A, links im H- und K-Band, rechts der Ausschnitt um die Absorption um 1,62  $\mu\text{m}$ . Eingetragen sind auch die besten Anpassungen mit jeweils zwei Spektren unterschiedlichen Typs.



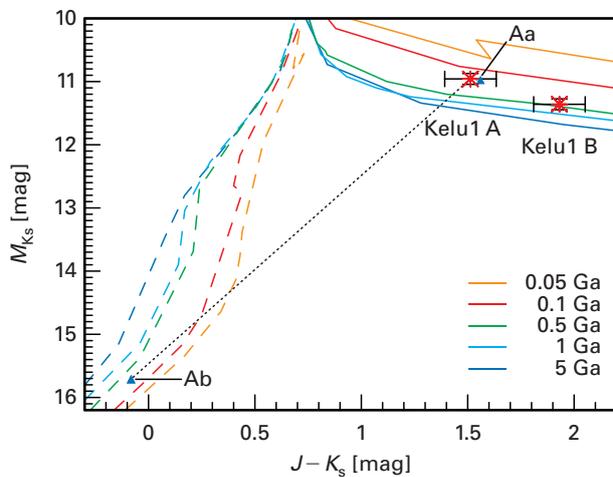
einer Milliarde Jahren. Fügt man die neu ermittelten Werte in ein solches Diagramm ein, so kommt man auf einen eher jüngeren und engeren Bereich zwischen 300 und 500 Millionen Jahren (Abb. II.4.4).

**Alter und Massen – Test von Entwicklungsmodellen**

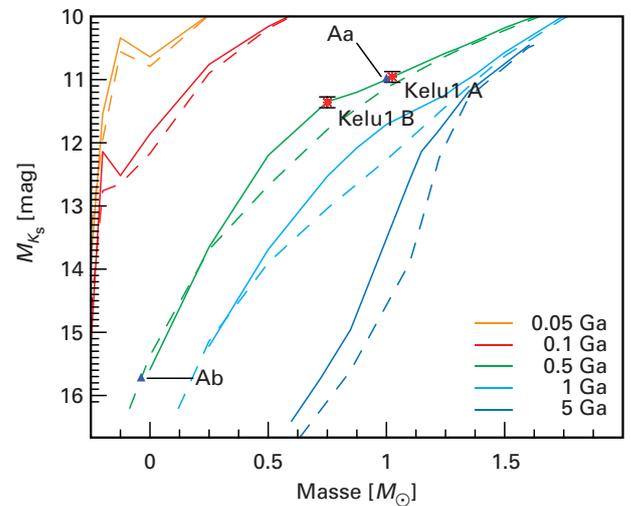
Mit den bisher geschilderten Ergebnissen konnten nun Entwicklungsmodelle von Braunen Zwergen getestet werden. Ein wichtiger Parameter ist wie eingangs geschildert das Alter. Ohne weitere Hinweise, wie etwa die Zugehörigkeit zu einem Sternhaufen bekannten Alters, ist man hier auf theoretische Entwicklungswege (Isochronen) beispielsweise in einem Farben-Helligkeits-Diagramm angewiesen. Bisherige Modelle lieferten für Keli-1 einen Altersbereich von 100 Millionen bis zu

Interessant war nun der Vergleich der dynamisch ermittelten Massenwerte mit denen aus Modellen. Wie Abb. II.4.5 zeigt, liefert das Modell mit der gemessenen Helligkeit im  $K_S$ -Band (bei 2,15  $\mu\text{m}$ ) und einem maximalen Alter von 500 Millionen Jahren für Keli-1A etwa 61 Jupitermassen und für den Begleiter 50 Jupitermassen. Selbst wenn man für eine dritte Komponente Keli-1Aa entsprechend ihrer Helligkeit 18,5 Jupitermassen hinzufügt, ergibt sich eine Gesamtmasse von nur 130 Jupitermassen – signifikant weniger als die dynamische Masse von 177 Jupitermassen.

**Abb. II.4.4:** Farben-Helligkeits-Diagramm mit Entwicklungswegen (Isochronen). Die Werte für Keli-1A und B sind eingetragen. Trennt man Keli-1A in zwei Komponenten auf, so trägt der masseärmere Begleiter Keli-1Ab kaum zum Gesamtwert bei.



**Abb. II.4.5:** Ermittlung der Massen aus den absoluten Helligkeiten. Auch hier fällt Keli-1Ab kaum ins Gewicht.



Kelu-1 ist nicht der einzige Fall, in dem die Modelle zu geringe Massen ergeben. So hatten Astronomen des MPIA im Jahre 2005 für den massearmen Körper AB Doradus C eine dynamische Masse von 93 Jupitermassen gefunden, während die Modelle einen nur etwa halb so großen Wert vorhersagten (Jahresbericht 2005, Kap. II.2). Auch für die beiden Braunen Zwerge Epsilon Indi Ba und Bb deutet sich eine vergleichbare Diskrepanz an.

Es ist also ganz offensichtlich, dass die Modelle für Braune Zwerge erheblich verbessert werden müssen. Vermutlich spielen hierbei atmosphärische Vorgänge, etwa die Bildung von Staubwolken, eine wesentliche Rolle. Kelu-1 eignet sich hervorragend dazu, diesen Fragen nachzugehen. Dafür sind weitere Beobachtungen nötig. Zum einen wollen die MPIA-Forscher versuchen, ihre Vermutung von der Existenz einer dritten Komponente zu prüfen. Möglich ist dies mit hoch auf-

lösenden Infrarotspektren von Kelu-1A. Mit ihnen sollte sich die Bewegung des unsichtbaren Begleiters über den Doppler-Effekt bemerkbar machen. Mit Spektren lassen sich möglicherweise auch Wolken nachweisen. Außerdem muss die Bahn der beiden Hauptkomponenten weiter verfolgt werden, da diese immer noch nicht mit ausreichender Genauigkeit bekannt ist.

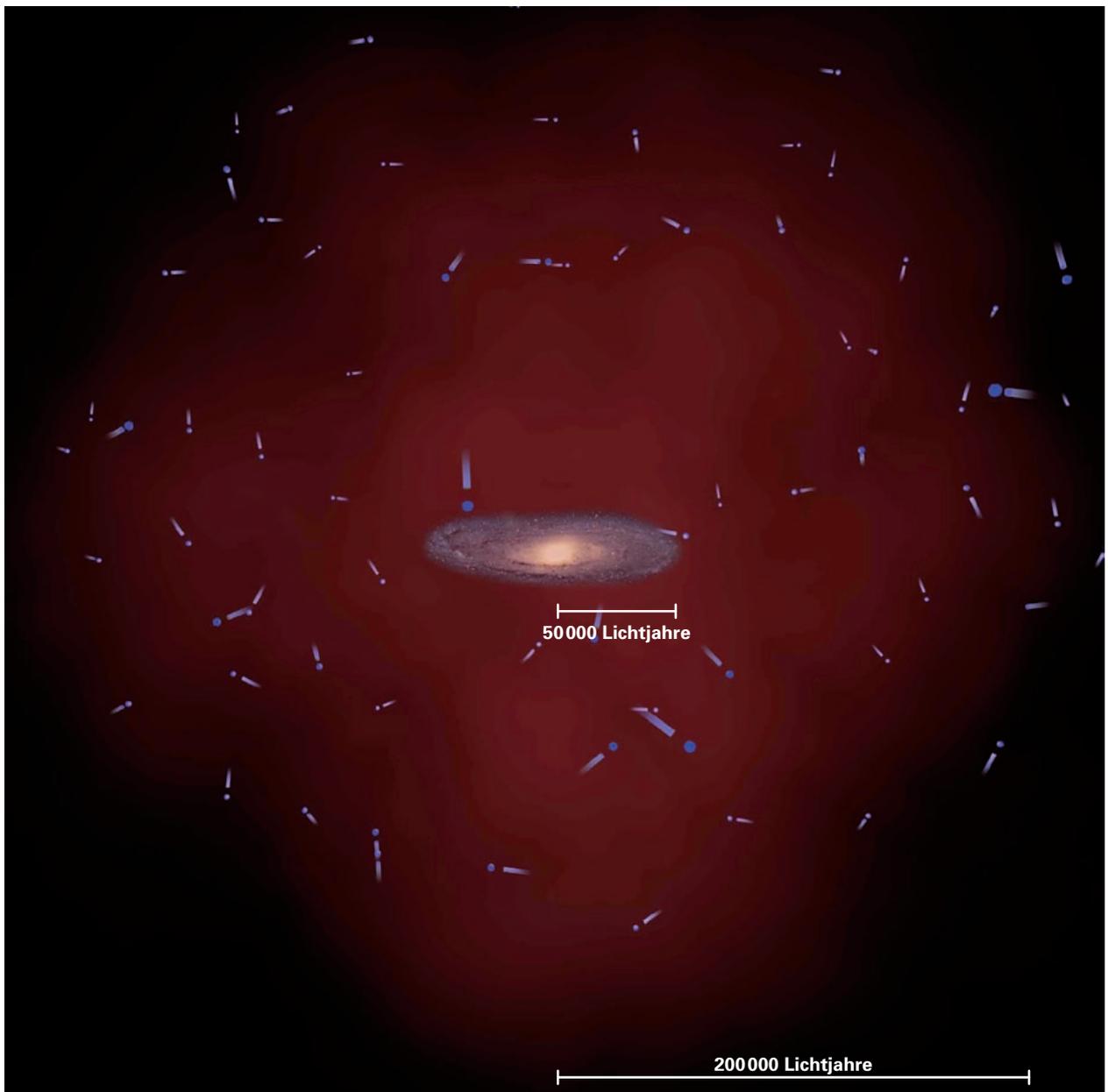
*Micaela Stumpf, Wolfgang Brandner,  
Thomas Henning, Rainer Köhler,  
Felix Hormuth, Viki Joergens.*

*In Zusammenarbeit mit:  
Instituto de Astrofísica de Canarias, Teneriffa (Spanien),  
ZAH, Landessternwarte, Heidelberg,  
Europäischen Südsternwarte, Eso*

## II.5 Die Milchstraße – gewogen und für leichter befunden

Die Gravitation ist auf großen Skalen die dominierende Kraft. Deshalb ist die Masse eines Himmelskörpers eine seiner fundamentalen astrophysikalischen Eigenschaften. Das gilt für Planeten und Sterne ebenso wie für Galaxien. Die Massenbestimmung des Milchstraßensystems stößt indes auf viele Schwierigkeiten. So stellt die Dunkle Materie den größten Anteil, doch sie lässt sich nicht direkt beobachten. Eine Gruppe von Astronomen unter der Leitung des MPIA hat die Geschwindigkeit von Sternen im

galaktischen Halo gemessen und daraus den bislang genauesten Wert für die Gesamtmasse der Galaxis abgeleitet: Innerhalb eines Radius von 200 000 Lichtjahren sind  $4 \times 10^{11}$  Sonnenmassen enthalten. Eine Extrapolation auf 800 000 Lichtjahre führt auf  $10^{12}$  Sonnenmassen. Dieses Ergebnis zeigt, dass die Masse des Milchstraßensystems bislang erheblich überschätzt wurde. Außerdem belegt es, dass in unserem Milchstraßensystem Sterne mit außergewöhnlich hoher Effizienz entstanden sind.



Nach den heutigen Vorstellungen zur Entstehung von Galaxien wuchsen zunächst Verdichtungen der kalten Dunklen Materie an, die dann als »Gravitationsfallen« für die normale baryonische Materie gewirkt haben. Demnach bildeten sich die sichtbaren Teile der Galaxien in den Zentren großer Halos aus Dunkler Materie, die sie noch heute umgeben. Die Ausdehnung des Milchstraßenhalos ist 10- bis 20-mal so groß wie die Sternansammlung in seinem Zentrum.

Die Massenbestimmung des Milchstraßensystems und seines Halos aus Dunkler Materie ist schwierig, weil wir uns innerhalb dieses Systems befinden. Im Jahre 1999 ermittelten Astronomen aus der Beobachtung von 27 Satellitengalaxien und Kugelsternhaufen eine Gesamtmasse von  $1,9 \times 10^{12}$  Sonnenmassen. Vier Jahre später kam eine andere Gruppe nach der Analyse von elf Satellitengalaxien, 137 Kugelsternhaufen und 413 Sternen der Sonnenumgebung auf circa  $2 \times 10^{12}$  Sonnenmassen. Im Jahre 2007 führte die Analyse einer Gruppe von Hochgeschwindigkeitssternen auf  $1,4 \times 10^{12}$  Sonnenmassen. Die Unsicherheit all dieser Massenbestimmungen beträgt jedoch einen Faktor zwei bis drei.

Das Team unter der Leitung von Xiang-Xiang Xue, einer Forscherin des Nationalen Observatoriums Chinas, die am MPIA promoviert, verwendete für ihre neue Studie Sterne im Halo des Milchstraßensystems, die im Hertzsprung-Russell-Diagramm auf dem blauen Horizontalast (blue horizontal branch, BHB) liegen. Diese massereichen, hellen Sterne befinden sich in einer Spätphase ihrer Entwicklung, sie verbrennen in ihrem Kern Helium, und ihre absolute Leuchtkraft ist bekannt. Deshalb lässt sich aus der Messung ihrer scheinbaren Helligkeit ihre Entfernung recht genau bestimmen. Diese Sterne identifizierten die Astronomen im Archiv der Durchmusterung SEGUE (Sloan Extension for Galactic Understanding and Exploration), die zum zweiten Sloan Digital Sky Survey (SDSS-II) gehört.

Um die BHB-Sterne zu identifizieren, werteten die Astronomen die Spektren von rund 10 000 Kandidaten aus und identifizierten sie durch eine detaillierte Absorptionslinien-Analyse. Übrig blieben schließlich 2401 Sterne bis in 200 000 Lichtjahre Entfernung von der galaktischen Scheibe, deren Radialgeschwindigkeiten sich aus den SDSS-Spektren mit einer Genauigkeit von mindestens 30 km/s ermitteln ließen (Abb. II.5.1 und II.5.2). Die Entfernungen ergaben sich aus den Farb- und Spektrallinformationen. Dies ist die bislang mit Abstand größte homogene Stichprobe von

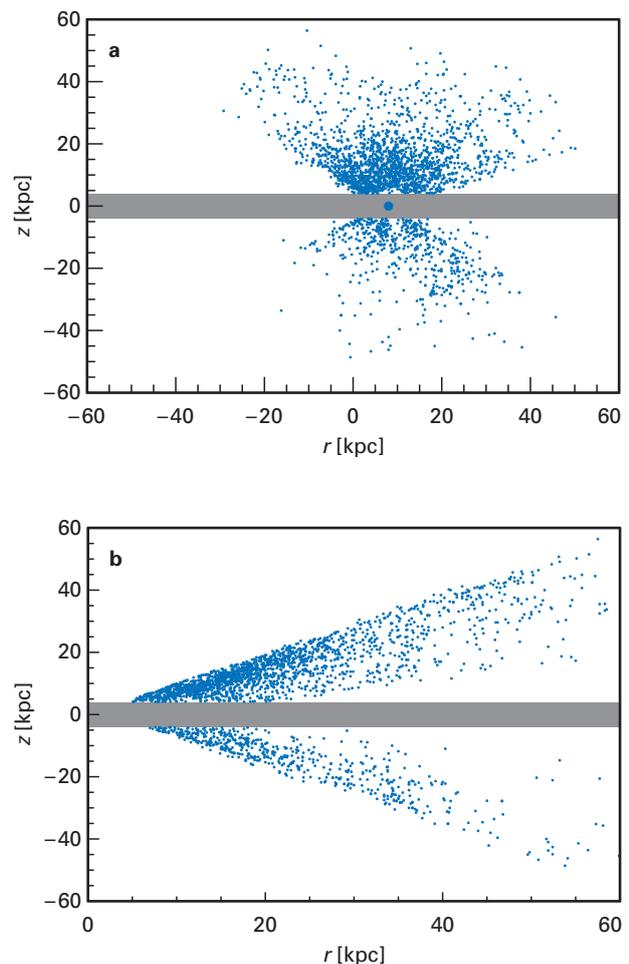
**Abb. II.5.1:** (links) Das Milchstraßensystem aus normaler, sichtbarer Materie ist in einen großen (hier rot dargestellten), massereichen Halo aus Dunkler Materie eingebettet. Die Sterne auf dem blauen Horizontalast, die im Rahmen der hier vorgestellten SDSS-Studie untersucht wurden, umkreisen die sichtbare Galaxis in großen Entfernungen.

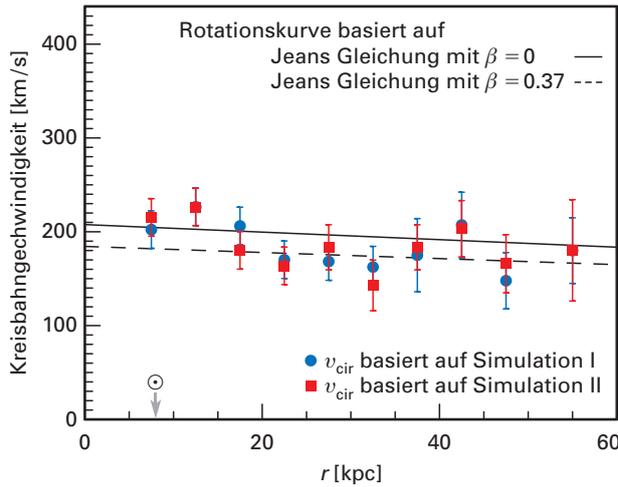
Sternen in den Außenbereichen der Galaxis, die für eine Massenbestimmung des Systems herangezogen wurde.

Die Aufgabe bestand letztlich darin, aus diesen Entfernungen und Geschwindigkeiten das Massenprofil des Milchstraßenhalos zu ermitteln und die Virialmasse des Halos zu berechnen. Dieses Problem lösten die Astronomen, indem sie ihre Messdaten mit zwei numerischen Simulationen kombinierten, welche die Entstehung des Milchstraßensystems innerhalb des Halos aus Dunkler Materie simulieren. Effekte, wie Gasdynamik und Sternentstehung, flossen hier mit ein.

Mit diesen beiden Simulationen erzeugten die Astronomen gewissermaßen kinematische »Pseudo-Beobachtungen« von simulierten Halosternen und stellten dann folgende Frage: Für welches Massenprofil der Halos aus Dunkler Materie in den Simulationen stimmen die Radialgeschwindigkeiten der simulierten Halosterne mit den echten Beobachtungen überein? Aus dem Vergleich von Simulation und Messdaten konnten die Astronomen die wahrscheinlichste Massenverteilung

**Abb. II.5.2:** a) Verteilung der untersuchten BHB-Sterne in der x-z-Ebene des Milchstraßensystems. b) Abstände der BHB-Sterne vom galaktischen Zentrum.





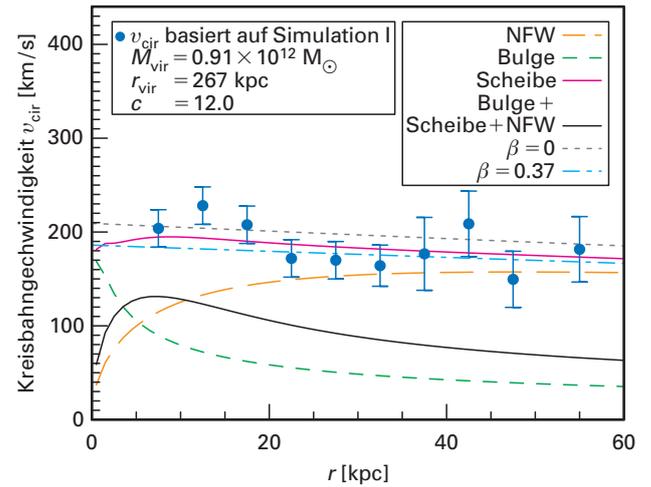
**Abb. II.5.3:** Ermittelte Kreisbahngeschwindigkeiten für die beiden Simulationen (*gefüllte Kreise und Quadrate*). Gezeigt sind die berechneten Werte für zwei Modelle mit isotroper ( $\beta = 0$ ) und anisotroper ( $\beta \neq 0$ ) Geschwindigkeitsverteilung der Sterne.

im Milchstraßenhalo ermitteln, die traditionell durch die Kreisbahngeschwindigkeit ihrer Sterne beschrieben wird.

Das Ergebnis für die beiden kosmologischen Simulationen über einen Entfernungsbereich von 30 000 bis 200 000 Lichtjahren (entsprechend 10 und 60 Kiloparsec) zeigt Abb. II.5.3. Hiermit wurde die Rotationskurve der Galaxis erstmals bis in so große Entfernungen vom galaktischen Zentrum und mit so hoher Genauigkeit gemessen. Auffallend ist eine leichte Geschwindigkeitsabnahme von 220 km/s auf etwa 175 km/s vom Ort der Sonne bis in die größte Entfernung. Abb. II.5.3 zeigt, wie sich hieraus die Masse des Milchstraßensystems innerhalb eines Radius von 200 000 Lichtjahren ergibt. (Das ist der Maximalabstand, bis zu dem Geschwindigkeiten gemessen wurden.) Die Astronomen erhielten hierfür einen Wert von  $4,0 \times 10^{11}$  Sonnenmassen mit einer Genauigkeit von etwa 20 Prozent.

Der zur Virialmasse beitragende Bereich reicht jedoch wesentlich weiter als die 60 Kiloparsec, auf die die Beobachtungsergebnisse begrenzt sind. Die Astronomen konnten rechnerisch aus ihren Daten eine Virialmasse bestimmen, indem sie den innerhalb von 60 Kiloparsec ermittelten Wert in die kosmologischen Simulationen eingaben und aufgrund der Modelle bis in eine Entfernung bis 290 Kiloparsec extrapolierten. Dieses Verfahren führte auf eine Virialmasse von  $1,0 \times 10^{12}$  Sonnenmassen mit einer Genauigkeit von 20 bis 30 Prozent (Abb. II.5.4). Dieses Ergebnis ist erheblich genauer als frühere Massenbestimmungen und liegt am unteren Rand der Bandbreite aller früheren Abschätzungen oder darunter.

Ein Vergleich der ermittelten Gesamtmasse mit der unabhängig gemessenen stellaren Masse zeigt, dass in der



**Abb. II.5.4:** Ermittelte Kreisbahngeschwindigkeiten (exemplarisch für eine der beiden Simulationen) im Vergleich mit Modellen für die Scheibe, den Bulge und ein Dunkle-Materie-Modell (NFW, nach Navarro, Frenk und White).

Galaxis fast die Hälfte der Baryonen in die Entstehung von Sternen eingegangen ist. Das ist doppelt so viel wie in vergleichbaren Galaxien. Unsere Milchstraße war also besonders effizient in der Bildung von Sternen.

Dieses Ergebnis hat – sofern es sich bestätigen sollte – Auswirkungen auf die Dynamik der Satellitengalaxien. Insbesondere stellt sich die Frage, ob beispielsweise die Magellanschen Wolken schon immer an das Milchstraßensystem gebunden waren. Darüber hinaus hat der neue Massenwert auch Auswirkungen auf kosmologische Modelle, die sich mit der Bewegung des Milchstraßensystems relativ zur Andromeda-Galaxie befassen. Entgegen der allgemeinen Fluchtbewegung der Galaxien aufgrund der kosmischen Expansion bewegen sich diese beiden Galaxien aufeinander zu.

*Xien-Xien Xue, Hans-Walter Rix,  
Frank van den Bosch, Eric Bell, Xi Kang.*

*In Zusammenarbeit mit:*

*The National Astronomical Observatories and  
Graduate University of the Chinese Academy  
of Sciences, Beijing (China),*

*University of Ljubljana, (Slowenien),*

*Universitäts-Sternwarte München,*

*Michigan State University, E. Lansing (USA),*

*Astrophysikalisches Institut Potsdam,*

*Lick Observatory, Santa Cruz (USA),*

*Fermi National Accelerator Laboratory, Batavia (USA),*

*Rensselaer Polytechnic Institute, Troy (USA),*

*Texas Tech University, Lubbock (USA),*

*University of Cambridge (UK),*

*Davey Laboratory University Park, Pennsylvania (USA)*

## II.6 Der ungewöhnliche Vorläuferstern der Supernova 2008S

Seit der Explosion der Supernova 1987A in der Großen Magellanschen Wolke konnten Astronomen weltweit die Vorläufersterne von etwa zehn weiteren Supernovae identifizieren. Solche Identifikationen sind nach wie vor schwierig, sie haben aber für die Theorie der Sternentwicklung große Bedeutung, zumal in einigen Fällen unerwartete Typen von Vorläufersternen zum Vorschein kommen. Im Falle der Kernkollaps-Supernova 2008S in der Spiralgalaxie NGC 6946 war dies erneut der Fall. Ein internationales Astronomenteam unter Beteiligung des MPIA spürte auf Bildern des

Weltraumteleskops SPITZER im nahen Infrarot einen Vorläuferstern mit einer geringen Masse von nur etwa zehn Sonnenmassen auf. Dies wirft die Frage auf, ob es sich bei SN 2008S überhaupt um eine echte Supernova handelt, oder lediglich um den extrem starken Ausbruch eines Leuchtkräftigen Blauen Veränderlichen (LBV).

**Abb. II.6.1:** Die Galaxie NGC 6946 im optischen Spektralbereich, aufgenommen mit dem Large Binocular Telescope (LBT).

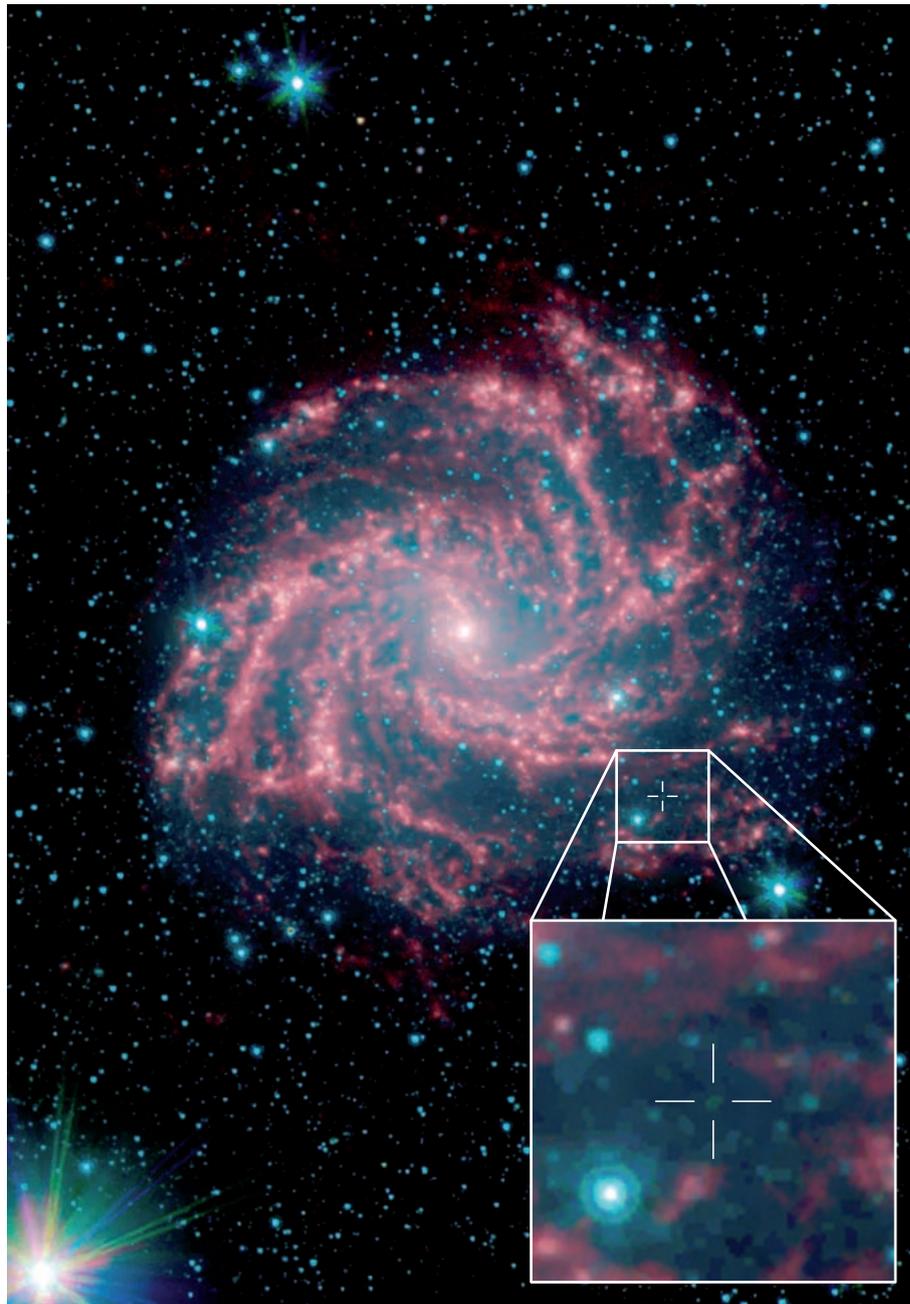


Die meisten Vorläufersterne von Kernkollaps-Supernovae wurden auf Archivaufnahmen des Weltraumteleskops HUBBLE gefunden. Dabei erwies es sich, dass Rote Überriesen mit Massen zwischen 8 und 20 Sonnenmassen als Supernovae vom Typ II-P explodieren. Die meisten Kernkollaps-Supernovae sind von diesem Typ. Allerdings gibt es auch ganz andere, unerwartete Fälle. So erwies sich der Vorläuferstern der SN 1987A in der Großen Magellanschen Wolke als Blauer Überriese mit 20 Sonnenmassen, und bei der SN 1993J vom Typ IIb in M 81 war ein Roter Überriese in einem Doppelsternsystem explodiert.

Die seltenste Gruppe ist vom Typ IIc. Die Spektren dieser Supernovae zeigen starke Balmer-Linien, wäh-

rend sich in ihrer langsam abklingenden Lichtkurve deutliche Anzeichen für eine Wechselwirkung zwischen der abgestoßenen Hülle und einem wasserstoffreichen zirkumstellaren Medium finden. Zwei Supernovae vom Typ IIc, SN 2005gl und SN 2006jc, konnten mit Hilfe von Archivaufnahmen leuchtkräftigen blauen Veränderlichen (Luminous Blue Variables, LBV) zugeordnet werden. Einer von ihnen hatte zwei

**Abb. II.6.2:** Infrarotbild der Galaxie NGC 6946, aufgenommen mit dem Weltraumteleskop SPITZER. Das weiße Kreuz in dem Bildausschnitt markiert den vermuteten Vorläuferstern der Supernova (Foto: NASA, JPL-Caltech, R. Kennicutt (University of Arizona), SINGS-Team).



Jahre zuvor einen Helligkeitsausbruch gehabt, der an Eta Carinae erinnerte. Es wurde deshalb vermutet, dass besonders massereiche Sterne als Supernovae vom Typ II<sub>n</sub> enden.

Als am 1. Februar 2008 in der nur 18,3 Millionen Lichtjahre entfernten Spiralgalaxie NGC 6946 die SN 2008S entdeckt wurde, ergab sich erneut eine Gelegenheit, den Vorläuferstern einer Supernova vom Typ II<sub>n</sub> aufzuspüren. Ron Arbour, ein Amateurastronom in den USA, hatte sie als Erster gesehen. Die Beobachtungen zeigten, dass das Licht stark gerötet war, in einer späteren Phase tauchten Spektrallinien wie die [CaII]-Emission auf.

Die relativ geringe Entfernung von NGC 6946 eröffnete die Möglichkeit, auf Archivbildern den Vorläuferstern ausfindig zu machen, sofern es sich wie vermutet um einen massereichen Überriesen gehandelt hat. Anna Pasquali vom MPIA hatte die Spiralgalaxie im Rahmen einer Untersuchung der Sternbildungsaktivität mit dem Large Binocular Telescope (LBT) auf dem Mount Graham in Arizona eingehend studiert. Ihre Aufnahmen im blauen Spektralbereich vom Mai 2007 (225 Tage vor der Supernova-Explosion) boten deshalb eine einzigartige Möglichkeit den Vorläufer von SN 008S zu finden. Doch an der Position der Supernova ließ sich innerhalb der nur 0,2 mal 0,5 Bogensekunden großen Fehlerellipse kein Stern nachweisen (Abb. II.6.1 und Abb. II.6.3 oben links). Aus diesem negativen Befund konnten die Astronomen maximale absolute Helligkeiten  $M_U > -4,8$  mag,  $M_B > -4,3$  mag,  $M_V > -3,8$  mag ableiten.

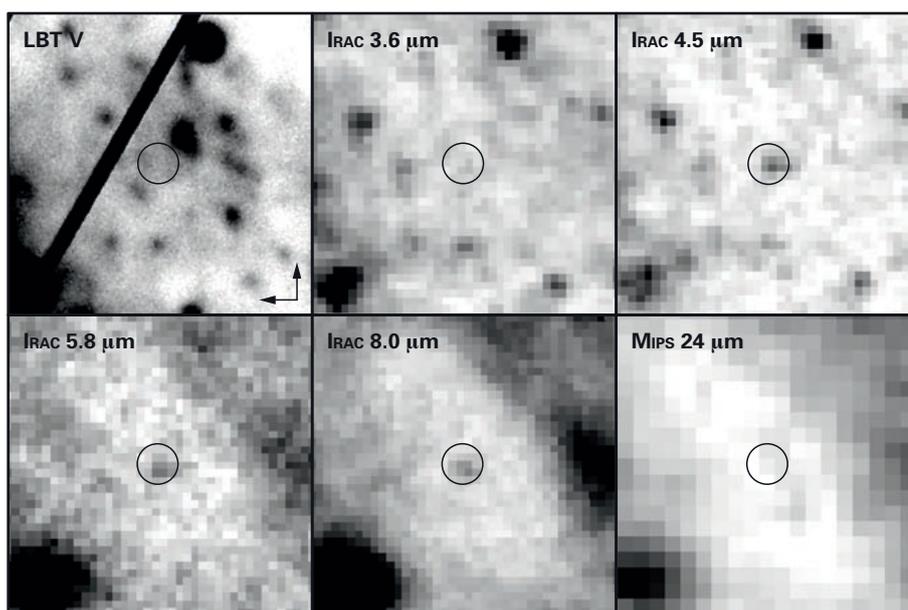
Eine weitere Möglichkeit, den explodierten Stern zu finden, bestand in den Archivdaten des Weltraumteleskops SPITZER. Hier wurden die Astronomen tatsächlich fündig: Auf mehreren Aufnahmen zwischen Juni 2004 und Januar 2007 fand sich an der Position der Supernova

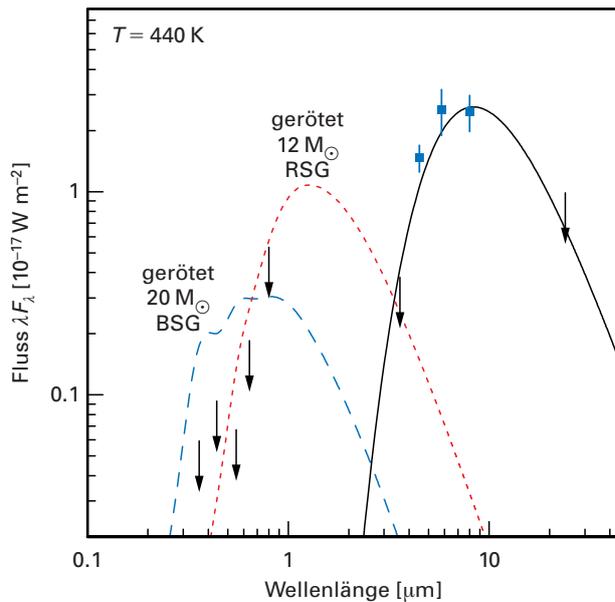
ein Stern (Abb. II.6.2). Er war ausschließlich im nahen Infrarot bei 4,5, 5,8 und 8,0  $\mu\text{m}$  nachweisbar (Abb. II.6.3) und zeigte über den Beobachtungszeitraum hinweg keinerlei Helligkeitsschwankungen um mehr als 10 Prozent. Bei kleineren und größeren Wellenlängen war er nicht mehr nachweisbar, so dass hier für die Helligkeit nur obere Grenzen ermittelt werden konnten. Auf Aufnahmen des Röntgenteleskops CHANDRA war die Quelle ebenfalls nicht identifizierbar, womit ein heller Röntgendoppelstern als Vorläufer ausschied.

Die drei Messwerte und die oberen Grenzen aus Abb. II.6.3 liefern eine spektrale Energieverteilung, die sich nicht mit einem einzigen Schwarzkörperstrahler darstellen lässt. Die Infrarotstrahlung lässt sich jedoch mit einem Schwarzkörper mit einer Temperatur von 440 K und einer Leuchtkraft von  $3,5 \times 10^4$  Sonnenleuchtkräften erklären. Diese Werte lassen auf eine sphärische Staubschale mit einem Radius von etwa 500 Lichtjahren schließen, die von einem Stern mit zehn Sonnenmassen erwärmt wird (Abb. II.6.4).

Der starke Helligkeitsabfall von 4,5  $\mu\text{m}$  zu 3,6  $\mu\text{m}$  Wellenlänge, wo die Quelle gar nicht mehr nachweisbar war, könnte seine Ursache in dem Vorhandensein relativ großer Staubteilchen haben. Mit einigen weiteren Annahmen über den Staub konnten die Astronomen mit Hilfe eines numerischen Modells abschätzen, dass in der Schale etwa ein tausendstel Sonnenmasse an Gas und Staub enthalten ist und dass der Stern einen Massenverlust von mindestens  $10^{-5}$  Sonnenmassen pro Jahr erlitten haben muss, um die Staubhülle zu bilden.

**Abb. II.6.3:** Aufnahmen des Ortes der SN 2008S vor deren Explosion. *Oben links* eine Aufnahme des LBT, alle anderen Aufnahmen wurden mit SPITZER bei unterschiedlichen Wellenlängen gewonnen.





Diese für den Vorläuferstern von SN 2008S ermittelten Werte findet man in der Milchstraße und der Großen Magellanschen Wolke typischerweise bei AGB-Sternen und Roten Überriesen, die von dichten Staubwolken umgeben sind. Sollte ein solcher Stern der Vorläufer gewesen sein, dann wäre er mit et-

**Abb. II.6.4:** Spektrale Energieverteilung des Vorläufersterns von SN 2008S mit Anpassungen von Schwarzkörper-Strahlung.

wa zehn Sonnenmassen ungewöhnlich massearm gewesen. Die vorhandenen Messdaten deuten zudem an, dass die Supernova selbst mit einer absoluten Helligkeit von  $M_V \sim -14$  mag (nach Berücksichtigung der Extinktion) relativ leuchtschwach war. Deshalb lässt es sich auch nicht ausschließen, dass es sich bei SN 2008S gar nicht um eine Supernova, sondern um einen extrem starken Ausbruch eines Leuchtkräftigen Blauen Veränderlichen gehandelt hat. Ein solches Ereignis kann mit einer Supernova verwechselt werden. Man spricht dann von einem Supernova impostor (impostor bedeutet Hochstapler).

Um der Frage nach der Natur des explodierten Sterns weiter nachzugehen, soll das Objekt in möglichst vielen Wellenlängenbereichen beobachtet werden, weil sich zukünftig Anzeichen für eine Wechselwirkung des Sternwinds mit dem umgebenden Medium zeigen könnten.

*Anna Pasquali.*  
*In Zusammenarbeit mit:*  
*Ohio State University,*  
*Steward Observatory, Tucson (USA)*

## II.7 Hyper-Sternentstehung 870 Millionen Jahre nach dem Urknall

**Als sich im jungen Universum die ersten Galaxien bildeten, müssen gleichzeitig viele Sterne entstanden sein. Bislang sind Beobachtungen dieser Phase jedoch wegen der großen Entfernungen sehr rar. Um so bemerkenswerter ist, es dass es einem internationalen Astronomenteam unter der Leitung von Fabian Walter gelungen ist, im Zentrum des entferntesten bekannten Quasars mit der Bezeichnung J1148+5251 eine Region räumlich aufgelöst zu beobachten, in der pro Jahr Sterne mit einer Gesamtmasse von mehr als 1000 Sonnenmassen entstehen. Vermutlich beobachten wir hier die Entstehung der sphärischen Sternkomponente, die wir in heutigen Galaxien beobachten und als »Bulge« bezeichnen.**

Der Quasar J1148+5251 war ursprünglich wegen seiner roten Farbe in den Daten der Himmelsdurchmusterung Sloan Digital Sky Survey (SDSS) aufgefallen; an dieser großen Durchmusterung ist das MPIA beteiligt. Weitere Aufnahmen und spektroskopische Nachbeobachtungen mit dem Keck-Teleskop auf Hawaii bestätigten die Vermutung, dass es sich um einen sehr weit entfernten Quasar handelt (Abb. II.7.1). Mit einer Rotverschiebung von  $z = 6,42$  ist er sogar der derzeitige Rekordhalter. Das heute von ihm empfangene Licht sandte er aus, als das Universum etwa 870 Millionen Jahre alt war. Damit gehört er zu den wenigen bekannten Quasaren, die wir in der Übergangszeit von der »dunklen«, neutralen Ära zur Ära der Re-Ionisation beobachten. Seine hohe optische Leuchtkraft stammt aus einer heißen Gasscheibe (Akkretionsscheibe), die ein zentrales Schwarzes Loch mit 1 bis 5 Milliarden Sonnenmassen umgibt.

Schon 2004 hatten Fabian Walter und Kollegen diesen Rekord-Quasar beobachtet. Damals fanden sie mit dem Very Large Array in Socorro, New Mexico, eine 12000 mal 4500 Lichtjahre große Wolke aus CO-Gas mit einer (überwiegend aus molekularem Wasserstoff bestehenden) Gesamtmasse von  $2 \times 10^{10}$  Sonnenmassen (siehe Jahresbericht 2004, Kap. II.5). Auffallend an J1148+5251 ist auch seine hohe Infrarotleuchtkraft von  $2,2 \times 10^{13}$  Sonnenleuchtkräften. Sie wurde bereits in der Vergangenheit zumindest teilweise auf eine intensive Sternentstehungsaktivität zurückgeführt.

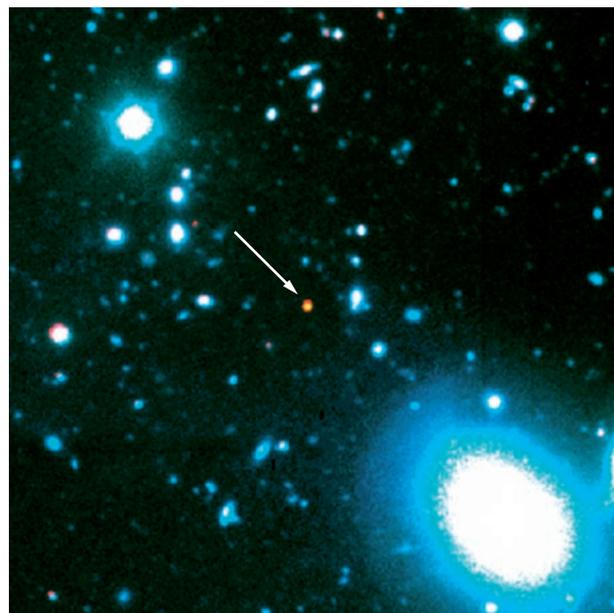
Um der Fragen nach der Stärke der Sternbildungsaktivität und der räumlichen Ausdehnung des entsprechenden aktiven Gebietes nachzugehen, beobachteten Walter und Kollegen den Quasar im Licht der Emissionslinie von einfach ionisiertem Kohlenstoff [CII] – einem wichtigen Indikator für Sternentstehung. Sie entsteht bei einer Ruhewellenlänge von  $158 \mu\text{m}$  und muss wegen der hohen Rotverschiebung bei  $1,17 \text{ mm}$  beobachtet werden.

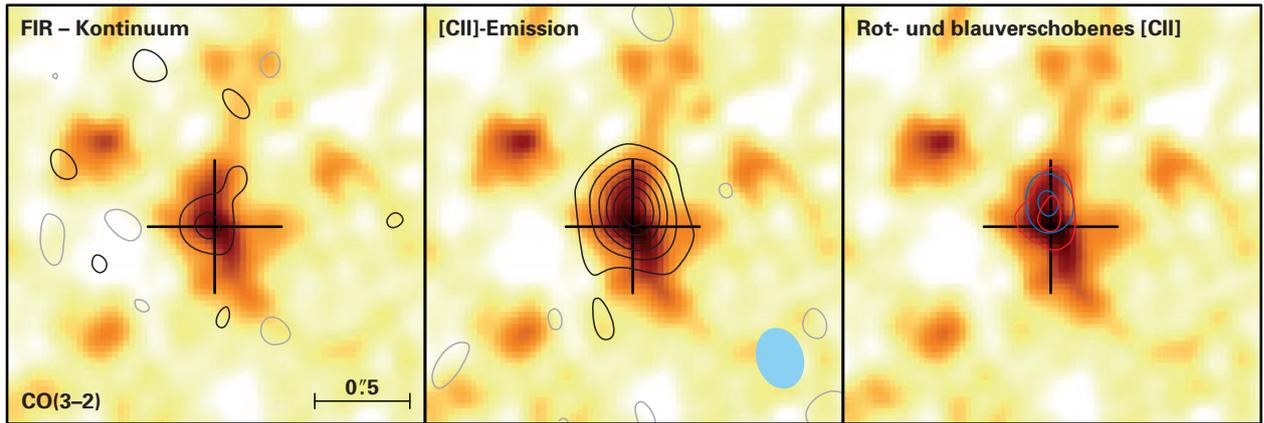
Hierfür nutzten die Astronomen das IRAM-Interferometer auf dem Plateau de Bure in den französischen Alpen, die gegenwärtig leistungsfähigste Anlage der Welt in diesem Wellenlängenbereich. IRAM erzielte eine Auflösung von  $0,31 \text{ mal } 0,23$  Bogensekunden, was am Ort des Quasars einer Ausdehnung von 5000 mal 4000 Lichtjahren entspricht.

Nach insgesamt 20 Stunden Integrationszeit ließ sich der Quasar in der [CII]-Linie nicht nur deutlich nachweisen, sondern auch räumlich auflösen (Abb. II.7.2, Mitte). Das Emissionsgebiet besitzt einen Durchmesser von 4900 Lichtjahren und befindet sich innerhalb der bereits erwähnten CO-Wolke. Allerdings liegt sein Zentrum etwa 2000 Lichtjahre nördlich des im optischen Spektralbereich beobachteten Quasars. Dieser Versatz ist im Rahmen der Messgenauigkeit signifikant. Eine Klärung des Phänomens steht noch aus. Es deutet aber bereits darauf hin, dass die Emission nicht direkt mit dem Schwarzen Loch zu tun hat.

Die Qualität der Daten war sogar so gut, dass sich rot- und blauverschobene Bereiche der [CII]-Region räumlich getrennt darstellen ließen (Abb. II.7.2 rechts). Damit wurde eine Abschätzung der Masse des Gases aufgrund seiner Dynamik möglich. Der erhaltene Wert stimmte mit dem im Jahre 2004 aus der Linienstärke ermittelten überein.

**Abb. II.7.1:** In einer Aufnahme mit dem Keck-Teleskop macht sich der Quasar J1148+5251 (Pfeil) durch seine rote Farbe bemerkbar. (S. Djorgovski/Keck)





**Abb. II.7.2:** Beobachtungen von J1148+5251 mit dem IRAM-Interferometer. Links die Kontinuumsmission im fernen Infrarot, in der Mitte die [CII]-Linienemission und rechts die rot- und blauverschobenen Anteile der [CII]-Linie. Sie ergaben sich aus Integration der Geschwindigkeitsbereiche von jeweils  $\pm 75$  bis  $\pm 175$  km/s.

Auch im Ferninfrarot-Kontinuum in der Umgebung der [CII]-Linie ließ sich das Objekt nachweisen (Abb. II.7.2 links und II.7.3). Hier stimmt das Zentrum mit der Position des Quasars überein. Wenn die gesamte Infrarot-Kontinuumsstrahlung von dem Schwarzen Loch verursacht würde, so müsste diese auch aus dem räumlich nicht aufgelösten Zentralgebiet des optischen Quasars kommen. Tatsächlich lässt sich aber nur etwa die Hälfte der Ferninfrarot-Kontinuumsstrahlung diesem Zentralobjekt zuweisen. Ein großer Teil wird also sehr wahrscheinlich von der Sternentstehung angeregt. Nimmt man die Hälfte des oben genannten Wertes an, also  $1,1 \times 10^{13}$  Sonnenleuchtkräfte, so kommt man auf eine Sternentstehungsrate von 1700 Sonnenmassen pro Jahr.

Die Intensität der Kontinuumsstrahlung ist zu gering, um daraus die räumliche Ausdehnung des Gebietes zu ermitteln. Hierfür diene die [CII]-Linienstrahlung. Mit der ermittelten Sternentstehungsrate ergab sich somit für das zentrale Gebiet mit einem Radius von 2500 Lichtjahren die enorme Sternentstehungs-Flächendichte von 1000 Sonnenmassen pro Jahr und Quadratkiloparsec.

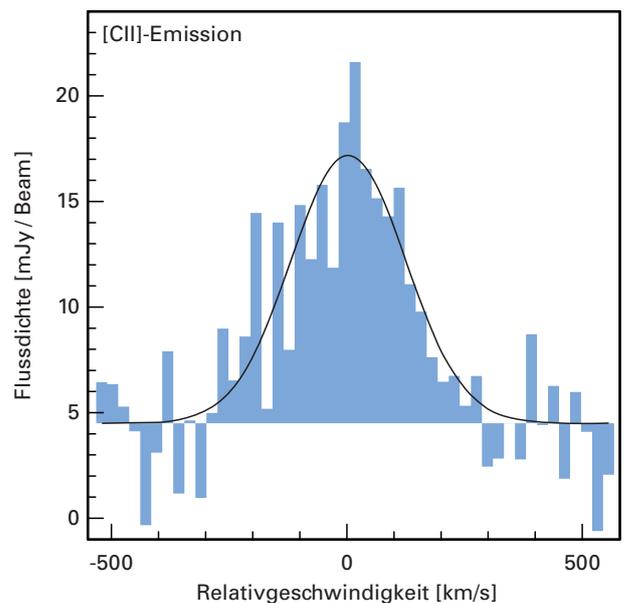
### Sternentstehung an der Grenze des theoretisch Erlaubten

Derart hohe Werte finden sich im nahen Universum in Ultraleuchtkräftigen Infrarotgalaxien (ULIRG) wie Arp 220, allerdings in Gebieten, die um zwei Größenordnungen kleiner sind als in J1148 + 5251. Auch sehr dichte Sternentstehungsgebiete in der Milchstraße, wie Orion KL, weisen so hohe Dichten auf. Doch hier ist

die Fläche um acht Größenordnungen kleiner als im Quasar.

Im Vergleich zu Sternentstehungsgebieten im lokalen Universum kann man deshalb die Situation in J1148+5251 als Hyper-Sternentstehung bezeichnen. Diese Dichte der Sternentstehung liegt an der Grenze des theoretisch Erlaubten. Junge Sterne treiben mit ihrer intensiven Strahlung die umgebenden Gas- und Staubwolken auseinander, wodurch sich der weitere Kollaps und die Bildung neuer Sterne erschwert. Daraus ergibt sich eine obere Grenze dafür, wie viele Sterne in einer bestimmten Raumregion innerhalb einer gegebenen Zeit überhaupt entstehen können. Die ermittelte Sternentstehungsdichte liegt gerade noch unterhalb dieses sogenannten Eddington-Limits.

**Abb. II.7.3:** Räumlich integriertes Spektrum im Bereich der [CII]-Linie. Die Linie besitzt eine Breite (FWHM) von 287 km/s und eine Leuchtkraft von  $4,2 \times 10^9$  Sonnenleuchtkräfte. Klar nachweisbar ist auch das Kontinuum bei 4,5 mJy.



Eine andere Theorie liefert einen Maximalwert der Sternentstehungsrate in Abhängigkeit von der Effizienz, mit der das interstellare Gas in neue Sterne umgesetzt wird. Wendet man diese Überlegung auf J1148+5251 an, so erhält man eine erstaunlich hohe Effizienz von 40 Prozent. Einen Wert dieser Größenordnung erwartet man beim Verschmelzen von zwei Galaxien – ein Vorgang, der bekanntermaßen heftige Sternentstehung auslöst.

Die neuen Beobachtungen deuten darauf hin, dass die Sternansammlung in diesem Quasar von innen heraus entsteht. Anfangs gibt es nur eine Kernregion, in der sich besonders viele Sterne bilden. Erst im Lauf der Zeit wächst der mit Sternen gefüllte Zentralbereich – etwa durch Kollisionen und Verschmelzungen mit anderen Galaxien – und erreicht eine ungleich größere Ausdehnung, wie man sie in älteren Galaxien wie der Milchstraße oder elliptischen Galaxien findet. Dieses Ergebnis ist für die theoretische Modellierung der Galaxienentwicklung von großer Bedeutung.

Im Bereich der [CII]-Linie dürfte mit dieser Arbeit das heute technisch Mögliche erreicht sein, und mit dem Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array (ALMA) wird sich der Quasar J1148+5251 nicht beobachten lassen, weil er am Nordhimmel steht. Im nächsten Schritt werden die Astronomen versuchen, in anderen hoch rotverschobenen Quasaren Emission von  $C^+$  nachzuweisen.

*Fabian Walter, Dominik Riechers.*

*In Zusammenarbeit mit:*

*California Institute of Technology, Pasadena (USA),*

*Institut de Radio Astronomie Millimétrique,*

*Saint Martin d'Herès (Frankreich),*

*National Radio Astronomy Observatory, Socorro (USA),*

*Argelander Institut für Astronomie*

*und Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn,*

*Osservatorio Astronomico di Roma (Italien)*

## II.8 Einzigartige Galaxienportraits mit THINGS

**Molekulares Kohlenmonoxid ist der wichtigste Indikator für Sternentstehungsgebiete. CO-Beobachtungen bieten auch die beste Möglichkeit, die Entwicklung der Sternentstehung im Verlauf der kosmischen Evolution zu studieren, sofern es gelingt, dieses Gas in sehr fernen Galaxien zu beobachten. Einer internationalen Astronomengruppe unter Leitung des MPIA ist es gelungen, CO in zwei hochrotverschobenen (also sehr weit entfernten) Quasaren zu untersuchen. Die Ergebnisse geben nicht nur Aufschluss über die heftige Sternentstehung in diesen jungen Galaxien, sondern erlauben auch weitreichende Aussagen über das Wirken der supermassereichen Schwarzen Löcher in ihren Zentren.**

Bis heute wurde in mehr als 30 Galaxien mit Rotverschiebungen größer als  $z = 2$  molekulares Gas in Form von CO nachgewiesen. Bei  $z = 2$  war das Universum 3,5 Milliarden Jahre alt, was etwa einem Viertel des heutigen Weltalters entspricht. Molekulares Gas findet man in der Regel entweder in Form einer Scheibe um das Zentrum einer Galaxie oder, im Falle von zwei verschmelzenden Galaxien (Mergers), im Bereich der Zentralregionen und in den überlappenden Gebieten, wo sich das Gas beider Galaxien vermischt. Es ist das Material, aus dem Sterne entstehen. CO-Beobachtungen bieten die Möglichkeit, die Entstehung und Entwicklung von Sternen und Galaxien selbst in einer derart frühen Epoche des Universums zu studieren.

### Rekonstruktion des Gravitationslinsenbildes eines Quasars

Eine Gruppe unter der Leitung von Dominik Riechers, der seine in Heidelberg begonnenen Studien als Hubble Fellow am California Institute of Technology in Pasadena fortsetzt, und Fabian Walter vom MPIA, beobachtete mit dem Very Large Array (VLA) in New Mexico einen Quasar mit einer Rotverschiebung von  $z = 4,12$  mit bislang unerreichter Auflösung und Empfindlichkeit. Das Objekt mit der Bezeichnung PSS J2322+1944 hat eine interessante Entdeckungsgeschichte hinter sich.

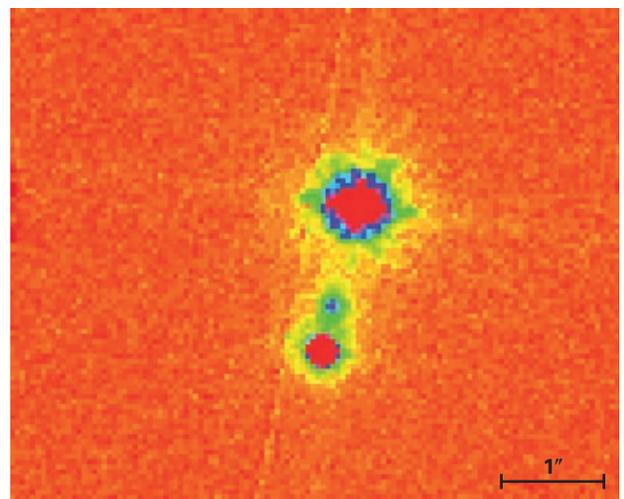
Im Jahre 2002 entdeckten Astronomen, dass dieser Quasar bei optischen Wellenlängen in Form eines Doppelbildes mit einem Abstand von 1,5 Bogensekunden erscheint (Abb. II.8.1). Anschließend wurde von ihm Röntgen- und Infrarotstrahlung nachgewiesen, was auf einen hellen, aktiven galaktischen Kern, aber auch auf intensive Sternentstehungsaktivität schließen ließ. Besonders interessant wurde es 2003, als Christopher Carilli vom National Radio Astronomy Observatory in

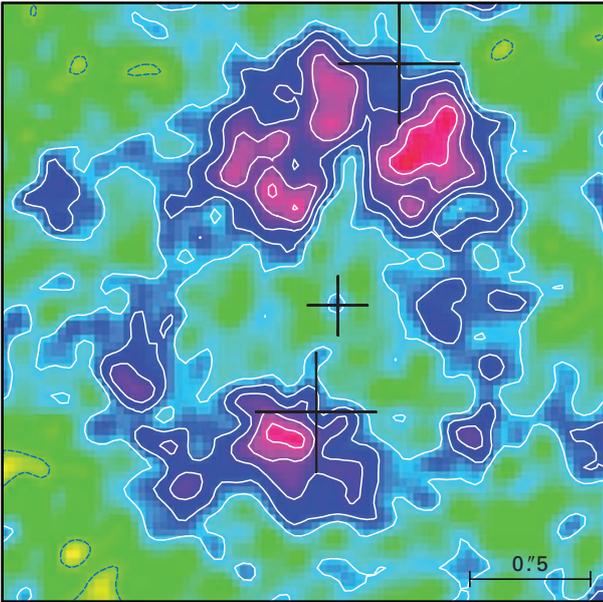
New Mexico entdeckte, dass das Radiobild von CO-Gas in der Quasar-Galaxie zu einem vollständigen Ring verzerrt ist. Ursache dafür ist der starke Gravitationslinseneffekt, erzeugt von einer Vordergrundgalaxie, die sich genau auf der Sichtlinie von der Erde zum Quasar befindet. Die von ihr verursachte Raumkrümmung erzeugt ein Bild des Quasars, das zu einem sogenannten Einstein-Ring verzerrt ist. Zusätzlich verstärkt der Gravitationslinseneffekt seine auf der Erde beobachtete Helligkeit. Dies eröffnete überhaupt erst die Möglichkeit, das CO-Gas detailliert zu beobachten.

Normalerweise ist dies unmöglich, weil das helle Kerngebiet die umgebende Galaxie hoffnungslos überstrahlt. Bei PSS J2322+1944 ergab sich die Gelegenheit im Radiobereich, wo CO-Moleküle Linienstrahlung beim Rotationsübergang  $J = z - 1$  bei einer Wellenlänge von 1,3 mm abgeben: Wegen der hohen Rotverschiebung erscheint die Linie auf der Erde bei 6,66 mm. Bei einer so großen Wellenlänge ist es ein schwieriges Unterfangen, eine ausreichende räumliche Auflösung zu erzielen. Riechers und Kollegen nutzten hierfür die 27 Antennen des Very Large Array (VLA) in New Mexico.

Insgesamt waren 70 Stunden Beobachtungszeit bei besten Wetterbedingungen nötig, um von PSS J2322+1944 die derzeit am höchsten aufgelöste Radiokarte zu erhalten. Auf ihr erkennt man den strukturierten Einstein-Ring mit zwei Intensitätsmaxima in der Nähe der beiden Bilder des Quasars (Abb. II.8.2). Die Aufgabe bestand

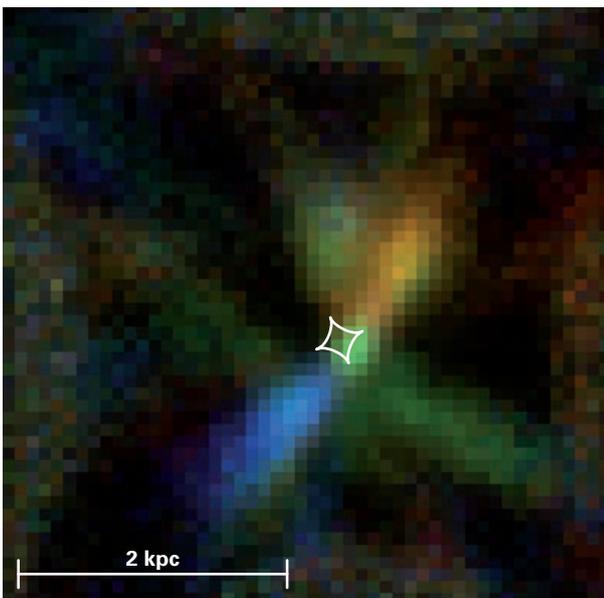
**Abb. II.8.1:** Falschfarbendarstellung der beiden Bilder des Quasars PSS J2322+1944 und der dazwischen liegenden Galaxie, die als Gravitationslinse wirkt. Die Aufnahme gelang mit dem Weltraumteleskop HUBBLE. (Bild: NASA/ESA).





**Abb. II.8.2:** Mit dem VLA bei einer Beobachtungswellenlänge von 6,66 mm erhaltene Radiokarte des Quasars PSS J2322+1944. Die beiden großen Kreuze kennzeichnen die aus einer Beobachtung mit dem Weltraumteleskop HUBBLE erhaltenen Positionen der Quasarbilder, an der Stelle des kleinen Kreuzes befindet sich die als Gravitationslinse wirkende Vordergrundgalaxie.

**Abb. II.8.3:** Falschfarbendarstellung der CO-Verteilung. Links das aus der Computersimulation rekonstruierte, wahre Aussehen, rechts der Einstein-Ring, wie er am Himmel erscheint. Die drei Farben Orange, Grün und Blau kennzeichnen die Radialgeschwindigkeit des Gases von uns weg, ruhend und auf uns zu. Sollte es sich wie vermutet um zwei ver-

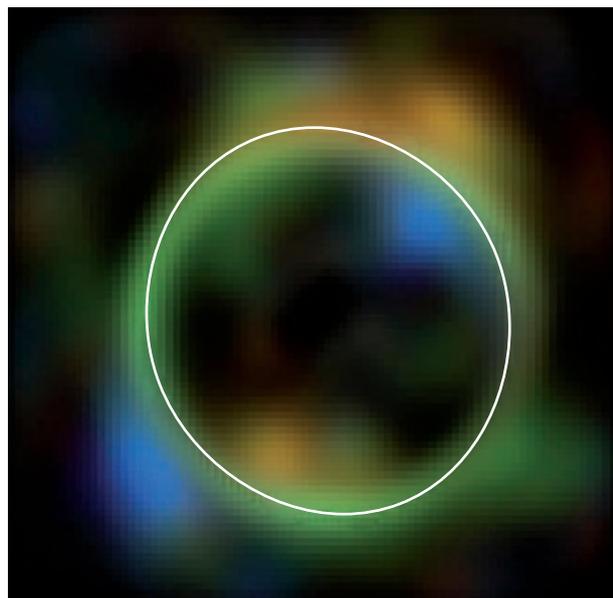


nun darin, aus dem beobachteten Einstein-Ring die wahre Verteilung des CO-Gases zu rekonstruieren, obwohl Entfernung und Masse der Vordergrundgalaxie nicht genau bekannt waren.

Die Rekonstruktion war dennoch möglich, weil für die weit entfernte Linsengalaxie nur die Kombination aus Entfernung und Masse entscheidend ist. Diese beiden Größen mussten aus Modellen gewonnen werden. Außerdem konnten die Astronomen den Quasar bei mehreren Wellenlängen innerhalb der CO-Emissionslinie beobachten. Damit konnte die Bewegung des Gases, die zu einer Doppler-Verschiebung der emittierten Wellenlänge führt, als zusätzliches Kriterium für die Rekonstruktion herangezogen werden. Und es gibt noch einen weiteren Effekt, den sich die Forscher zunutze machten: Sie konnten beobachten, wie sich der Quasar relativ zur Linsengalaxie bewegt, und daher Gas bei verschiedenen Geschwindigkeiten (gleichbedeutend mit verschiedenen Positionen relativ zum Zentrum der Galaxie) auch unterschiedlich abgebildet wird. Der von der Linse verursachte Verstärkungsfaktor der Helligkeit variierte nach dem Modell abhängig von der beobachteten Dopplergeschwindigkeit zwischen 3,9 und 6,4.

All dies ging in ein Computermodell ein, mit dem Riechers und Kollegen erstmals die räumliche Verteilung und – wegen des Doppler-Effekts – auch die Dynamik des Gases einer so weit entfernten Quasar-Galaxie rekonstruierten (Abb. II.8.3 links). Man erkennt eine längliche Struktur, deren unterer Teil blau- und deren oberer

schmelzende Galaxien handeln, so sitzt der Quasar mit dem Schwarzen Loch im Knoten rechts oben und das Zentrum der zweiten Galaxie im Knoten links oben. Die langgezogenen Schweife sind die deformierten Galaxien, wie man sie in ähnlicher Form bei der Antennengalaxie beobachtet. Das Karo markiert die Position der Gravitationslinse.



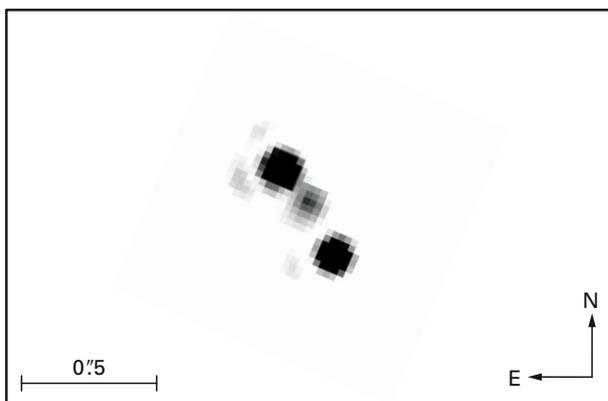
rotverschoben ist. Die Astronomen sehen hierin eine ausgedehnte, 16 000 Lichtjahre lange Struktur innerhalb der Muttergalaxie des Quasars. Der untere Teil kommt auf uns zu, der obere entfernt sich von uns.

Aus den Geschwindigkeitsdaten, die das Gravitationspotential der Galaxie widerspiegeln, lässt sich eine dynamische Gesamtmasse von mindestens  $4,4 \times 10^{10}$  Sonnenmassen ableiten. Diese beinhaltet sowohl das Gas als auch Staub, das Schwarze Loch, die gesamte stellare Masse und eventuell vorhandene Dunkle Materie. Aus der Intensität der CO-Emission ergibt sich eine Gesamtmasse des Gases (überwiegend molekularer Wasserstoff  $H_2$ ) von  $1,7 \times 10^{10}$  Sonnenmassen. Rund 40 Prozent der insgesamt vorhanden Materie liegen demnach in Form von Gas vor. Das ist ein sehr hoher Anteil. Normale Spiralgalaxien wie unsere Milchstraße enthalten weniger als ein Prozent Gas, da sie bis zum heutigen Tag den größten Teil des Gases in Sterne umgewandelt haben. Die Einstein-Ring-Galaxie sehen wir aber in einem Zustand, den sie 1,5 Milliarden Jahre nach dem Urknall besaß. Vermutlich hatte sie damals noch nicht genügend Zeit, um so viel Gas in Sterne umzuwandeln.

Aus der hohen Leuchtkraft der CO-Emission und der großen Ausdehnung der Gasreservoirs schließen Riechers und Kollegen, dass das Gas auf großen Skalen stark erhitzt wird. Wahrscheinlich sind hierfür sehr viele junge Sterne verantwortlich. Hierfür spricht auch die eingangs erwähnte Infrarotleuchtkraft des Quasars, die auf stark erhitzten Staub auf ähnlichen Skalen schließen lässt. Sie führt auf eine sehr hohe Sternentstehungsrate von 680 Sonnenmassen pro Jahr. Die Galaxie könnte somit einen großen Teil ihres nachgewiesenen Gasreservoirs innerhalb von nur 30 bis einigen 100 Millionen Jahren in Sterne umsetzen.

Wahrscheinlich wird dieser Sternentstehungsboom dadurch ausgelöst, dass die Quasar-Galaxie gerade mit einer anderen großen, gasreichen Galaxie zusammenstößt. Diese ist in Abb. II.8.3 als grünliche Gaskomponente erkenn-

**Abb. II.8.4:** Diese mit dem Weltraumteleskop HUBBLE gewonnene Aufnahme zeigt die drei Bilder des Quasars APM 08279+5255. (Bild: R. A. Ibata et al, 1999).



bar, die leicht verbogen erscheint und die Quasargalaxie kreuzt. Von nahe gelegenen wechselwirkenden Galaxien ist bekannt, dass bei solchen Zusammenstößen sowohl die Sternentstehung angeregt wird als auch die zentralen, massereichen Schwarzen Löcher mit Material »gefüttert« werden und deshalb hell leuchten. Das würde die hohe Leuchtkraft des Quasars erklären.

### Schnelles Wachstum des Schwarzen Lochs

PSS J2322+1944 bietet zudem die faszinierende Möglichkeit, eine vor mehreren Jahren entdeckte Korrelation zwischen der Masse der zentralen Schwarzen Löcher in den Galaxien und der Masse der sie umgebenden stellaren Kerngebiete (englisch Central bulges genannt) zu überprüfen. Nach dieser Korrelation steckt im Bulge etwa das 700-fache der Masse des Schwarzen Loches. Diese verblüffende Korrelation gilt für unterschiedliche Galaxientypen und erstreckt sich im Massenbereich über viele Größenordnungen. Kosmologen sehen darin ein Anzeichen dafür, dass die Entwicklung der Schwarzen Löcher und die der Sterne in ihren umgebenden Galaxien ursächlich zusammenhängen müssen.

Interessant ist nun die Frage, ob diese Korrelation auch im jungen Universum galt, als die Galaxien gerade im Entstehen waren. Sichere Antworten darauf gibt es noch nicht, weil die Massenbestimmung mit zunehmender Entfernung der Galaxien immer schwieriger wird.

Riechers und Kollegen bestimmten aus der Leuchtkraft des Quasars die Masse des Schwarzen Loches zu  $1,5 \times 10^9$  Sonnenmassen. Für den stellaren Bulge hatten sie wie beschrieben aus der dynamischen Masse eine obere Grenze von  $4,4 \times 10^{10}$  Sonnenmassen gefunden, so dass die Masse des Bulges in diesem Fall nur höchstens etwa das 30-fache der Masse des Schwarzen Loches beträgt. Das Schwarze Loch in PSS J2322+1944 ist also um mehr als eine Größenordnung massereicher, als es die Relation im heutigen Universum erwarten ließe. Es hat den Anschein, als würden die Schwarzen Löcher in massereichen Galaxien anfangs schneller wachsen als die sie umgebende stellare Komponente im Bulge.

Diese Schlussfolgerungen haben weitreichende Konsequenzen für Modelle der Galaxienentstehung und der Kosmologie im Allgemeinen. Sie werden derzeit noch kontrovers diskutiert. Allerdings sind die Messergebnisse (im Rahmen ihrer verbleibenden Unsicherheiten) im Einklang mit Beobachtungen von anderen weit entfernten Quasaren.

### Ähnliche Verhältnisse im Quasar APM 08279+5255

Die zweite Beobachtung galt dem Quasar APM 08279+5255 mit einer Rotverschiebung von  $z = 3,9$ . Er sandte das heute empfangene Licht 1,6 Milliarden

Jahre nach dem Urknall aus. Für dieses Objekt wurde eine extrem hohe bolometrische Leuchtkraft von  $7 \times 10^{15}$  Sonnenleuchtkräften ermittelt, doch bald wurde klar, dass dieser Wert durch die Verstärkung einer Gravitationslinse zustande kommt. Hoch aufgelöste Aufnahmen zeigen APM 08279+5255 als Dreifachbild (Abb. II.8.4), wobei die als Gravitationslinse auftretende Galaxie im Vordergrund sehr leuchtschwach ist und daher bislang nicht identifiziert werden konnte. Deshalb ist auch der Lichtverstärkungsfaktor nicht genau bekannt. Bemerkenswert ist aber auf jeden Fall die Tatsache, dass etwa 20 Prozent der Leuchtkraft im Infraroten abgestrahlt werden, was auf thermische Emission von Staub und eine sehr hohe Sternentstehungsrate hindeutet.

APM 08279+5255 gehört zu den best untersuchten Objekten im jungen Universum. Neben den Molekülen HCN und  $\text{HCO}^+$  war auch starke CO-Emission nachgewiesen worden. Allerdings hatte das Emissionsgebiet nicht räumlich aufgelöst werden können. Dies gelang der Gruppe um Riechers und Walter erneut mit dem VLA, wobei die Beobachtungswellenlänge der CO-Linie  $J = 1 - 0$  bei 12,77 mm lag (Ruhewellenlänge 2,6 mm). Gleichzeitig wurde die Radiokontinuumstrahlung des Quasars im Bereich nahe dieser Linie beobachtet.

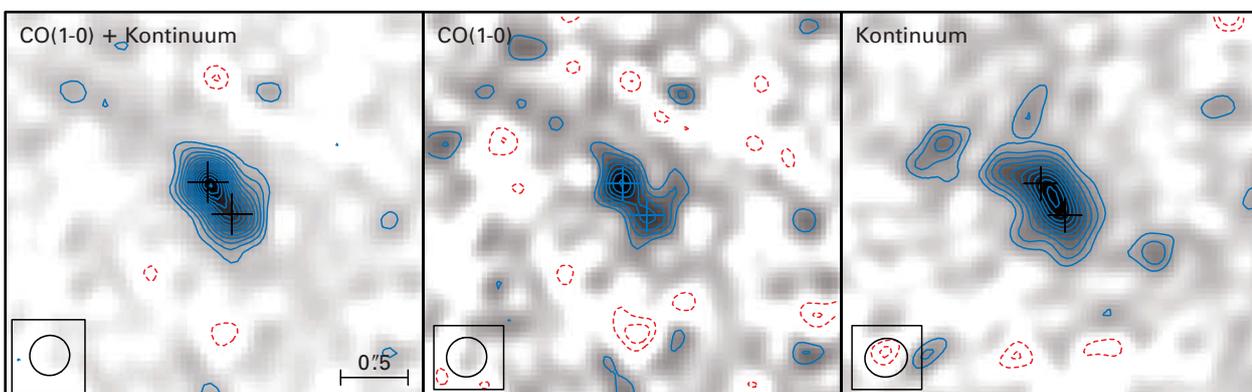
Nach einer Gesamtintegrationszeit von 55 Stunden konnte die Linienemission deutlich zwei 0,31 Bogensekunden voneinander getrennten Gebieten zugeordnet werden. Sie entsprechen den zwei hellen Gravitationslinsen-Bildern der Gasemission im Zentralbereich des Quasars (Abb. II.8.5), die auch in anderen Wellenlängenbereichen, wie dem Röntgenbereich und dem fernen Infrarot, erkennbar sind. Die Kontinuumemission konnte ebenfalls räumlich aufgelöst werden, erschien jedoch als ausgedehntes Gebiet mit seinem Maximum zwischen den beiden CO-Liniengebieten.

**Abb. II.8.5:** Mit dem VLA gewonnene Radioaufnahmen. *Links:* Überlagerung der Linien- und Kontinuumsaufnahme, *Mitte:* die Aufnahme im Bereich der CO-Emissionslinie zeigt deutlich die zwei getrennten Bilder. Das dritte, schwache Bild (s. Abb. II.8.4) ist nicht erkennbar. *Rechts:* Im Kontinuum erscheint eine ausgedehnte Quelle.

Aus den neuen und weiteren bekannten Beobachtungsdaten konstruierten die Astronomen ein konsistentes Modell, mit dem sie den Quasar beschreiben konnten. Darin ergab sich der wahrscheinlichste Lichtverstärkungsfaktor durch die Gravitationslinse zu einem Faktor 4. Dieses Ergebnis steht in starkem Widerspruch zu dem bis dahin verwendeten Wert 100 (abgeleitet von Nahinfrarotbeobachtungen des aktiven galaktischen Kerns). Die CO-Linienemission kommt in diesem Modell aus einer zentralen Gasscheibe mit einem Radius von 1800 Lichtjahren, die das aktive Schwarze Loch umgibt. Die insgesamt in dieser Scheibe vorhandene Gasmasse (überwiegend molekularer Wasserstoff) wurde aus der CO-Leuchtkraft mit einem empirisch bestimmten Umrechnungsfaktor zu  $1,3 \times 10^{11}$  Sonnenmassen bestimmt. Die Masse des Schwarzen Loches lässt sich auf unterschiedliche Weise ermitteln, wobei verschiedene Methoden auf einen Wert von  $2,3 \times 10^{10}$  Sonnenmassen hindeuten.

Die neuen Beobachtungen erlaubten es zudem, aus dem Radius der Scheibe von 1600 Lichtjahren und der von Riechers und Kollegen gemessenen CO-Linienbreite von 556 km/s, eine dynamische Masse  $M_{\text{dyn}}$  der Scheibe zu berechnen. Diese ergab sich zu  $M_{\text{dyn}} \sin^2 i = 4,0 \times 10^{10}$  Sonnenmassen – hier ist  $i$  der unbekannte Neigungswinkel der Scheibe gegen die Sichtlinie.  $M_{\text{dyn}}$  beinhaltet die Summe aller Komponenten: Schwarzes Loch, Gas, Staub, Sterne und eventuell vorhandene Dunkle Materie im Zentralbereich der Galaxie. Da die dynamische Masse nicht kleiner sein kann, als die Summe aus den ermittelten Massen des Gases und des Schwarzen Lochs, kann der Neigungswinkel  $i$  höchstens 30 Grad betragen. Die Astronomen verwendeten 25 Grad, einen Wert, der auch zu anderen Beobachtungen des Quasars passt und mit einer statistischen Analyse ähnlich hoch rotverschobener Galaxien in Einklang ist.

Die Masse des zentralen stellaren Bulges lässt sich nicht explizit aus den Beobachtungen ableiten, ergibt sich aber indirekt aus der dynamischen Masse, wenn man davon die Masse des Gases, des Staubes und des Schwarzen Lochs abzieht. Damit erhielten die Astronomen für den Bulge einen Wert von  $7,5 \times 10^{10}$  Sonnenmassen.



Aus diesen Zahlen folgt ein Massenverhältnis des Bulges zum zentralen Schwarzen Loch von nur 3,4. Dieser Wert ist zwar stark von dem verwendeten Lichtverstärkungsfaktor abhängig, aber selbst bei dem alten Wert 100 ergibt sich ein Massenverhältnis von nur 50. In beiden Fällen ist also die stellare Komponente (relativ zur Masse des Schwarzen Lochs) um eine bis zwei Größenordnungen masseärmer, als es die im heutigen Universum bestimmte Relation erwarten ließe. Dieses Ergebnis geht also in dieselbe Richtung wie bei dem zuvor beschriebenen Quasar PSS J2322+1944: Offenbar sind die zentralen Schwarzen Löcher anfangs schneller gewachsen als die sie umgebenden stellaren Bulges.

Diese beiden Ergebnisse, die von zwei weiteren Studien dieses Teams an hochrotverschobenen Quasaren unterstützt werden, deuten demnach darauf hin, dass die in unserer kosmischen Umgebung beobachtete Massenkorelation kein zeitunabhängiges universelles Gesetz ist, sondern am Ende einer langen kosmischen Evolution steht.

Das Astronomenteam will die interessanten Quasare zukünftig noch eingehender studieren, um deren Eigenschaften besser zu verstehen. Auch ist es wichtig, wei-

tere Galaxien bei weniger extremen Rotverschiebungen anzuschauen, um genauer zu bestimmen, wie sich die Massenkorelation mit dem kosmischen Weltalter entwickelt. Schließlich müssen die Befunde dieser Studie in große, kosmologische Computermodelle integriert und ihre Bedeutung für die Entwicklung von Galaxien im frühen Universum genauer untersucht werden.

Die hier vorgestellten Beobachtungen bereiten den Weg für zukünftige Studien mit dem Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array (ALMA), das im nächsten Jahrzehnt die Möglichkeit bieten wird, diese Quasare und ähnliche Objekte mit höherer Empfindlichkeit und räumlicher Auflösung zu beobachten.

*Dominik Riechers, Fabian Walter.*

*In Zusammenarbeit mit:*

*California Institute of Technology, Pasadena (USA),  
National Radio Astronomy Observatory, Socorro (USA),*

*University of Sydney (Australien),*

*Argelander-Institut für Astronomie, Bonn,*

*Institut de Radio Astronomie Millimétrique,*

*Saint Martin d'Heres (Frankreich)*

### III. Ausgewählte Forschungsgebiete

#### III.1 Rotation und Akkretionsscheiben in der massereichen Sternentstehung

**Das MPIA ist umfassend an der Erforschung der massereichen Sternentstehung beteiligt und führt in diesem Zusammenhang beobachtende und theoretische Studien über Entstehung, Entwicklung und Eigenschaften massereicher, rotierender, zirkumstellarer Hüllen und Scheiben durch. In diesem Kapitel stellen wir mehrere unserer Beobachtungsprojekte und theoretischen Studien vor, die sich mit diesem Thema befassen.**

Die massereichsten Sterne spielen eine entscheidende Rolle für den Energiehaushalt und die molekulare/atomare Zusammensetzung des interstellaren Mediums (ISM). Während ihrer gesamten Lebenszeit injizieren sie Energie in ihre Umgebung – das beginnt mit molekularen Ausströmungen während ihres Entstehungsprozesses, setzt sich mit reichlichen UV-Photonen während ihrer gesamten Hauptreihenphase fort und endet mit den abschließenden Supernova-Ereignissen. Zudem sind sie die Wiege aller schweren Elemente und ihre Bildung ist der einzige Sternentstehungsmodus, der in entfernten Galaxien beobachtbar ist. Die hochrotverschobenen Submillimetergalaxien lassen sich nur durch die heftige Entstehung massereicher Sterne bereits im frühen Universum verstehen. Es bleibt eine Herausforderung für Beobachter und Theoretiker, die physikalischen Prozesse nachzuvollziehen, die tatsächlich zur Entstehung massereicher Sterne führen.

Das größte theoretische Hindernis liegt in der kurzen Entwicklungszeit, weil massereiche Sterne mit der Verbrennung von Wasserstoff beginnen, bevor ihre Akkretion abgeschlossen ist. In einem einfachen sphärischen Akkretionsmodell sollte die vom wasserstoffbrennenden Protostern ausgehende kräftige UV-Strahlung aufgrund ihres starken Strahlungsdrucks die weitere Akkretion abbremsen, sodass die Entstehung massereicher Sterne überhaupt nicht möglich wäre. Dieses Szenario ist offenbar falsch, denn die Existenz massereicher Sterne mit nicht weniger als 100 Sonnenmassen ist bekannt. Die wahrscheinlichste Lösung dieses Erklärungsproblems ist die Aufgabe der Vorstellung von der sphärischen Akkretion und die Annahme der Entstehung massereicher Sterne durch Akkretion über zirkumstellare Akkretionsscheiben, wobei gleichzeitig der größte Teil des Drehimpulses durch hochkollimierte Jets und Ausströmungen in Richtung beider Pole abtransportiert wird.

Die Beobachtung der Entstehung massereicher Sterne ist schwierig, weil die zu untersuchenden Gebiete meist mehrere tausend Lichtjahre weit entfernt sind. Zudem entstehen massereiche Sterne ausschließlich in Gruppen,

**Abb. III.1.1:** Das Submillimeter-Array (SMA) auf Mauna Kea/Hawaii.



was die räumliche Differenzierung mehrerer Objekte innerhalb einer einzelnen Entstehungsgruppe sehr erschwert. Darüber hinaus entstehen massereiche Sterne tief in ihrer »Geburtswolke« aus kaltem Staub und Gas, was klassische Beobachtungen im Sichtbaren und im nahen Infrarot unmöglich macht. Diese physikalischen Voraussetzungen bestimmen die Art der Beobachtung: Wir müssen (Sub-)Millimeter-Interferometer verwenden, die einerseits die zur Untersuchung der wichtigen Strukturen erforderliche räumliche Auflösung liefern und andererseits für die Strahlung von kaltem Staub und kaltem Gas in den Entstehungsgebieten empfindlich genug sind. Abb. III.1.1 zeigt das Submillimeter-Array auf dem Mauna Kea als Beispiel eines geeigneten Observatoriums.

2007 organisierte das MPIA eine große internationale Konferenz in Heidelberg, die sich ausschließlich der Entstehung massereicher Sterne widmete. Die Tagungsberichte wurden 2008 in der ASP Conference Series (Band 387, Herausgeber Beuther, Linz und Henning) veröffentlicht. Die Untersuchung von Rotation und massereichen Akkretionsscheiben gehört zu den zentralen Themen auf diesem Gebiet.

### Eigenschaften rotierender Strukturen – von infraroten Dunkelwolken zu massereichen protostellaren Objekten

Zur Untersuchung der entwicklungsbedingten Veränderungen rotierender Strukturen und Akkretionsscheiben während der Entstehung massereicher Sterne haben wir mehrere Regionen als repräsentative Beispiele für ihre jeweilige Entwicklungskategorie ausgewählt: eine »Infrarote Dunkelwolke« (Infrared Dark Cloud, IRDC) für die frühesten Entwicklungsphasen, ein massereiches protostellares Objekt (High-Mass Protostellar Object – HMPO) für die Hauptentwicklungsphase und einen heißen Kern für chemisch weiter entwickelte Regionen. Dieses Projekt ist Bestandteil der Doktorarbeit von Cassandra Fallscheer. Im Folgenden erläutern wir einige Ergebnisse daraus in Bezug auf die durch IRDC und HMPO gekennzeichneten Entwicklungsphasen.

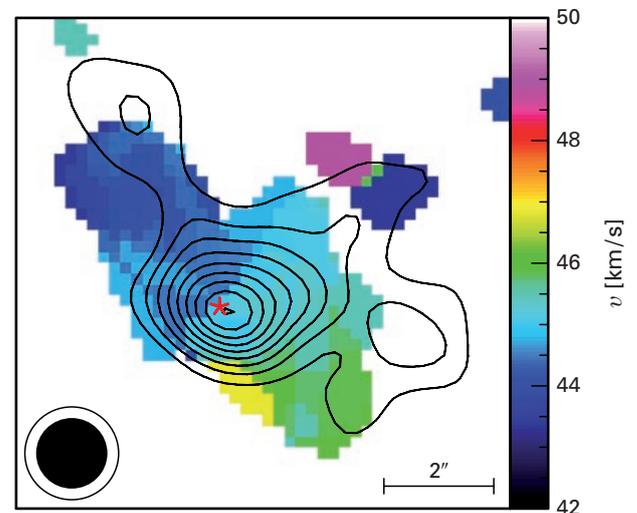
*Die Dunkelwolke IRDC 18223-3:* Das weitere Umfeld dieser Region ist bereits Gegenstand mehrerer Untersuchungen gewesen. Allerdings gelang es uns jetzt mit dem Submillimeter-Array bei 1,1 mm Wellenlänge zum ersten Mal, ihre kleinskalige Struktur im Licht der Staubkontinuumsemission und mehrerer Spektrallinien aufzulösen. Während die großskalige molekulare Ausströmung von der Region in Nordwest-Südost-Richtung ausgeht, haben wir senkrecht dazu eine abgeflachte Struktur in der Staubkontinuumsemission und entlang dieser Struktur einen Geschwindigkeitsgradienten in den Spektrallinien von  $\text{CH}_3\text{OH}$  und  $\text{N}_2\text{H}^+$  gefunden (Abb. III.1.2). Dieses scheibenähnliche Gebilde ist mit einem Ausmaß von ca. 25 000 AE erstaunlich groß –

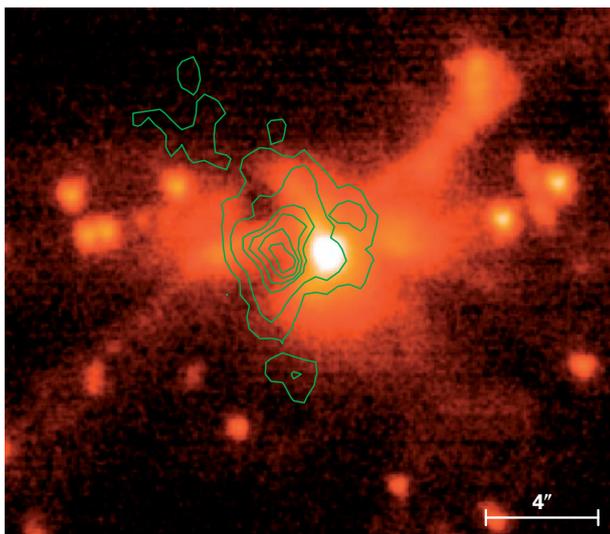
wesentlich größer als die erwartete Größenordnung von höchstens einigen 1000 AE. Im Gegensatz dazu ist die Geschwindigkeitsverteilung über die Struktur mit einer Größenordnung von 3 km/s ( $\Delta v$  im Zentrum  $\sim 1,7$  km/s) relativ gering. Mit diesen Abmessungen und einer Masse von ca. 120 Sonnenmassen kann diese Struktur keine stabile Kepler-Akkretionsscheibe sein: Vielmehr repräsentiert sie die rotierende und einfallende Hülle, die durch die Drehimpulserhaltung während des Einfalls abgeflacht wird. Um dieses Szenario zu testen, haben wir ein einfaches Einfallmodell mit Drehimpulserhaltung verwendet (Ulrich 1976, ApJ 210, 377). Dieses Modell reproduziert die beobachteten Strukturen gut.

Diese Beobachtungen beschäftigen sich mit den Rotationseigenschaften massereicher, einfallender Hüllen zu Beginn des Entstehungsprozesses massereicher Sterne. Wir beobachten große, abgeflachte Strukturen, allerdings können wir mit unserer räumlichen Auflösung in der Größenordnung von 5000 AE (1,3 Bogensekunden bei 3,7 kpc) keine zentrale Kepler-Akkretionsscheibe auflösen. Da wir eine typische molekulare Ausströmung größerer räumlicher Ausmaße beobachten und solche Ausströmungen nur durch magneto-hydrodynamische Beschleunigung in Akkretionsscheiben erklärbar sind, ist es wahrscheinlich, dass im Rahmen künftiger Beobachtungen mit noch höherer räumlicher Auflösung (z. B. mit ALMA, dem Atacama Large Millimeter Array) eine typischere Keplersche Scheibenstruktur gefunden werden dürfte.

*Das massereiche protostellare Objekt IRAS 18151-1208:* Die Untersuchung der kleinskaligen Struktur rund um dieses HMPO – das wahrscheinlich die Hauptakkre-

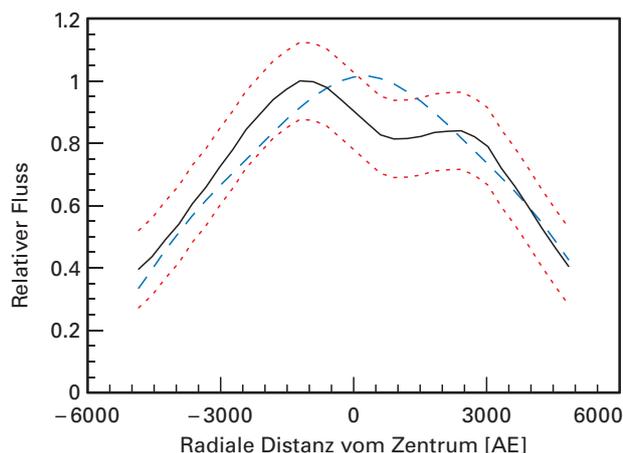
**Abb. III.1.2:** Die Farbskala repräsentiert die intensitätsgewichtete Geschwindigkeitsstruktur (erstes Moment) in der Dunkelwolke IRDC 18223-3, beobachtet in  $\text{CH}_3\text{OH}$ . Die Konturen geben die Staubkontinuumsemission bei 1.1 mm Wellenlänge wieder. Die entsprechende molekulare Ausströmung ist senkrecht dazu in Nordwest-Südost-Richtung orientiert.





**Abb. III.1.3:** Das massereiche protostellare Objekt IRAS 18151–1208. Im linken Bild ist farbig kodiert die  $H_2$ -Emission im nahen Infrarot dargestellt (nach Davis et al. 2004); die grünen Konturen geben die senkrecht zur Ausströmung orientierte,

tionsphase für die Entstehung massereicher Sterne repräsentiert – zeigte erneut eine ausgedehnte Struktur in der Staubkontinuumsemission bei 1,3 mm Wellenlänge senkrecht zur molekularen Ausströmung (Abb. III.1.3). Interessanterweise haben wir bisher kein Molekül identifiziert, das die Kinematik der Region gut abbildet. Die räumliche Ausdehnung dieser Struktur umfasst ungefähr 6000 AE. Die gemessene Linienbreite in Richtung auf das Zentrum liegt etwa 3 km/s – diese Werte sind eher typisch für eine erwartete Akkretionsscheibe. In diesem Fall modellierten wir die Scheibenstruktur mit Hilfe von Monte-Carlo-Strahlungstransportrechnungen. Inputparameter dafür sind Scheibengröße, -masse, -dichtestruktur, -flaring, und einige weitere Parameter. Der Code (MC3D, Wolf 2003, CoPhC 150, 99) errechnet damit selbstständig die Temperaturverteilung und die daraus resultierende Strahlung von optischen bis Millimeter-Wellenlängen. Während quantitative Parameter, wie etwa Scheibengröße oder -masse, höhere Werte als die typischer massearmer Scheiben aufweisen, stellen wir interessanterweise fest, dass sich die Skalierungseigenschaften massearmer und massereicher Scheiben offensichtlich nicht sehr stark unterscheiden. Die abgeleitete Dichteverteilung und das Flaring der Scheibenstruktur von IRAS 18151–1208 stimmen mit den entsprechenden Eigenschaften massearmer T-Tauri-Scheiben überein (z. B. der Schmetterlingsstern, Wolf et al. 2003, ApJ 588, 373). Wenn auch zur Bestätigung dieser Einschätzung weitere statistische Daten nötig sind, so enthalten die vorliegenden Daten und Modelle doch Hinweise darauf, dass – während sich die quantitativen Parameter von massearmen zu massereichen Sternen er-

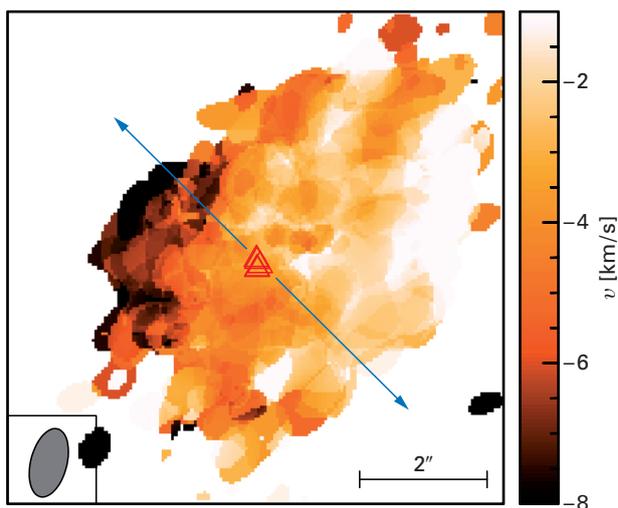


ausgedehnte Staubkontinuumsemission bei 1,3 mm wieder. Das rechte Feld zeigt als durchgezogene Linie einen Schnitt entlang der Scheibenachse (Nordost-Südwest, mit gepunkteten Linien für die  $1\sigma$ -Unsicherheiten) und als Strichlinie unser entsprechendes Monte-Carlo-Strahlungstransportmodell. Wir interessieren uns in erster Linie für die Scheibenstruktur in der äußeren Region.

heblich unterscheiden – ihre qualitative Struktur offensichtlich bemerkenswert ähnlich bleibt.

### Eine Durchmusterung des Südhimmels nach heißen Kernen von Molekülwolken

Wenn auch Fallbeispiele, wie die oben beschriebenen, wichtig für ein Detailverständnis repräsentativer Quellen sind, benötigt man für grundsätzlichere Erkenntnisse über die Rotations- und Scheibeneigenschaften eine breitere statistische Basis. Diesem Ansatz entsprechend haben wir mit dem Australia Telescope Compact Array in ca. 60 Stunden Beobachtungszeit ein umfassendes Programm zur Untersuchung einer Auswahl von 12 massereichen Scheibenkandidaten in stark angeregten Ammoniaklinien ( $NH_3(4,4)$  und  $NH_3(5,5)$ ) durchgeführt. Die Begründung für die Auswahl der Quelle und der Linien fällt etwas anders aus als die obige. Da die Indikatoren für Scheibenrotation stark von Entwicklungsphase, Dichte und Temperaturstruktur der Quellen abhängen, müssen für eine einheitliche Studie Quellen in ähnlichen Entwicklungsphasen ausgewählt werden. Zudem wollten wir auch eine Spektrallinie verwenden, welche die kalte Hülle herausfiltert und in erster Linie die rotierenden Innenstrukturen darstellt. Da die optische Tiefe eine weitere Einschränkung bedeutet, haben wir die stark angeregten  $NH_3$ -Linien im Zentimeterwellenbereich gewählt (wo die Emission mit Sicherheit optisch dünn ist), deren Anregungstemperatur zwischen 200 und 300 K liegt. Diese Linien bilden wahrscheinlich nur die innersten warmen Regionen der un-



**Abb. III.1.4:** Die Farbskala repräsentiert die intensitätsgewichtete Geschwindigkeitsstruktur (Darstellung der ersten Momente) in Richtung auf den heißen molekularen Kern G351.77-0.54, gemessen in  $\text{NH}_3(4,4)$ . Die Pfeile geben die Ausrichtung der molekularen Ausströmung an, und die Dreiecke markieren die  $\text{CH}_3\text{OH}$ -Maser-Positionen. Der synthetisierte Sehtrahl ist unten links zu sehen.

tersuchten Quellen ab. IRDCs und HMPOs, wie die in den vorherigen Kapiteln beschriebenen, sind allerdings nicht weit genug entwickelt, um signifikante Gasmengen auf die jeweiligen Temperaturen zu erhitzen, und deshalb müssen andere Quellen gewählt werden. Auf der Grundlage früherer Studien haben wir jetzt eine Auswahl von 12 heißen molekularen Kernen für diese eher statistisch ausgerichtete Studie ausgewählt. (Beuther et al., in Vorbereitung)

Bis auf eine wurden alle Quellen in beiden  $\text{NH}_3$ -Übergängen nachgewiesen (Abb. III.1.4 zeigt ein Beispiel). Von den elf kartierten Quellen weisen sechs eindeutige Signaturen von Rotations- und/oder Einfallsbewegungen auf. Diese Signaturen variieren von typischen Geschwindigkeitsgradienten senkrecht zu den Ausströmungen, über Einfallssignaturen in Absorption gegen ultrakompakte HII-Regionen, bis hin zu eher sphärischen Einfallssignaturen in der Emission. Obwohl unsere räumliche Auflösung bei ca. 1000 AE liegt, finden wir in keiner der Quellen Kepler-Signaturen. Zudem finden wir keine abgeflachten Strukturen. Dagegen ist die räumliche Struktur in mehreren der Quellen mit Rotationssignaturen annähernd sphärisch, ihre Größe überschreitet  $10^4$  AE, und sie zeigen erhebliche klumpige Substrukturen, die noch kleinskaliger sind. Dies impliziert, dass im Durchschnitt typische Kepler-Akkretionsscheiben – wenn sie denn wie erwartet existieren – auf Regionen begrenzt sein dürften, die normalerweise kleiner als 1000 AE sind. Es ist wahrscheinlich, dass diese Scheiben durch größere, rotierende

Hüllenstrukturen gespeist werden, wie wir sie hier beobachten. Zudem finden wir hier in den meisten untersuchten Objekten eine Kontinuumsemission bei 1.25 cm Wellenlänge. Während mit unseren Quellen in einigen Fällen eine schwache cm-Kontinuumsemission assoziiert ist, sind größerskalige HII-Regionen typischerweise mehr als 10 Bogensekunden gegen unsere Quellen versetzt. Während diese HII-Regionen mit großer Wahrscheinlichkeit nicht direkt mit unseren Quellen zusammenhängen, unterstreicht dieser räumliche Zusammenhang dennoch zusätzlich, dass die Entstehung massereicher Sterne nicht in einem isolierten Muster, sondern in einem Gruppenmodus verläuft.

### Das Zentrum massereicher Scheiben im Visier: Interferometrie im mittleren Infrarot

Während die bis hier vorgestellten Studien die rotierenden Strukturen auf einer Skala von 1000 AE untersuchen, entsprechend einer Auflösung im Bogensekundenbereich der heute verfügbaren (Sub-) Millimeter- und Zentimeter-Interferometer, stehen uns noch keine Informationen über die sehr kleinskalige Struktur unterhalb von 100 AE zur Verfügung. Um die physikalischen Prozesse dieser Größenordnung erfassen zu können, haben wir ein Programm initiiert, bei dem wir das MIDI-Interferometer für das mittlere Infrarot am VLTI verwenden, um die Struktur des warmen zirkumstellaren Staubes rund um massereiche junge Objekte (Young Stellar Objects, YSOs) bis hinab zu einem Bereich von 20 Millibogensekunden zu erfassen. 13 massereiche YSOs haben wir bis heute beobachtet. Da MIDI als Zwei-Element-Interferometer keine direkte Ableitung von Bildern, sondern nur von Visibility-Werten (spektral gestreute Messungen von Interferenzstreifen) erlaubt, ist zur Interpretation eine nachfolgende Modellierung erforderlich. Wir verwenden zunächst das SED-Fittingtool von Robitaille et al. (2007, ApJS 169, 328) zur Identifizierung von Parametersätzen aus einem großen Raster von Modellen, in denen die spektrale Energieverteilung (SED) der resultierenden Kontinuumsemission gut zur bekannten SED des beobachteten YSO passt. Dann wird der zugrundeliegende Monte-Carlo-Strahlungstransportcode von Whitney et al. (2003, ApJ 591, 1049) verwendet, um für diese Modellkonfigurationen hoch aufgelöste Bilder im mittleren Infrarot zu erstellen. Durch den Vergleich der resultierenden synthetischen Visibility-Werte mit den beobachteten Werten lässt sich feststellen, welche Modelle gleichzeitig die beobachteten SED und Visibility-Werte erklären können.

Für das Objekt M8E-IR sind unsere Untersuchungen am weitesten fortgeschritten. Sie führen zu einigen interessanten Schlussfolgerungen (Linz et al., eingereicht). M8E-IR ist ein bekanntes massereiches junges Objekt, das seit den 1980er Jahren bei einer geringeren Winkelauflösung gut untersucht wurde. Gemäß un-

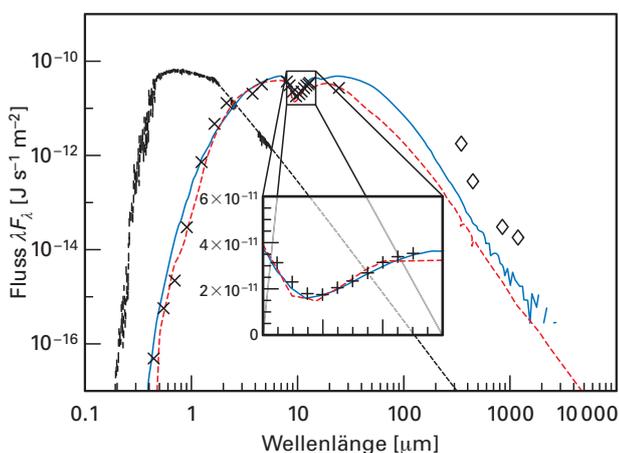
serem besten SED-Fit besteht die Quelle aus einer sehr kompakten zirkumstellaren Scheibe ( $< 50$  AE), einer größeren Hülle mit kleinen bipolaren Aushöhlungen, und einem kühlen Zentralobjekt ( $T_{\text{eff}} \sim 4500$  K). Wir erwähnen ausdrücklich, dass sich unter den gut geeigneten Modellen auch Konfigurationen ohne eine Scheibe befinden (nur achsensymmetrisch abgeflachte Hülle plus Ausströmungshöhlen), einschließlich eines kühlen, aufgeblähten Zentralsterns. Dies lässt vermuten, dass im Falle von M8E-IR die Wahl des Zentralobjektes tatsächlich die resultierenden Visibility-Werte steuern könnte. Die geeignetsten Modelle für M8E-IR im Robitaille-Modellgitter bieten Zentralsterne von 10 bis 15 Sonnenmassen, die stark aufgebläht sind (120 bis 150 Sonnenradien) und deshalb eine relativ geringe Effektivtemperatur aufweisen. Wie bereits von Kippenhahn und Meyer-Hofmeister (1977, A&A 54, 539) nachgewiesen, kann eine mit hohen Raten auf Hauptreihensterne einwirkende Akkretion solche Sterne vorübergehend aufblähen. Neuere Simulationen bestätigen dieses Ergebnis (Hosokawa und Omukai 2009, ApJ 691, 823; Yorke und Bodenheimer 2008, ASP Conf. Ser. 387, 189). Diese Forschungsgruppen stellen fest, dass bei Akkretionsraten in einer Größenordnung von  $10^{-3}$  Sonnenmassen pro Jahr der protostellare Radius vorübergehend auf über 100 Sonnenradien anwachsen kann, was auch mit unseren Erkenntnissen übereinstimmt. Interessanterweise hatten Mitchell et al. (1988, ApJL 327, L17) für M8E-IR auf der Basis von CO-Absorptionsspektren im M-Band molekulare Ausströmungen hoher Geschwindigkeit nachgewie-

sen und jüngere ( $< 120$  Jahre) FU-Orionis-Ausbrüche für dieses Objekt angenommen. Wenn diese multiplen Ausströmungskomponenten wirklich auf jüngere starke Akkretionsereignisse zurückgehen, könnte der Zentralstern davon tatsächlich betroffen sein.

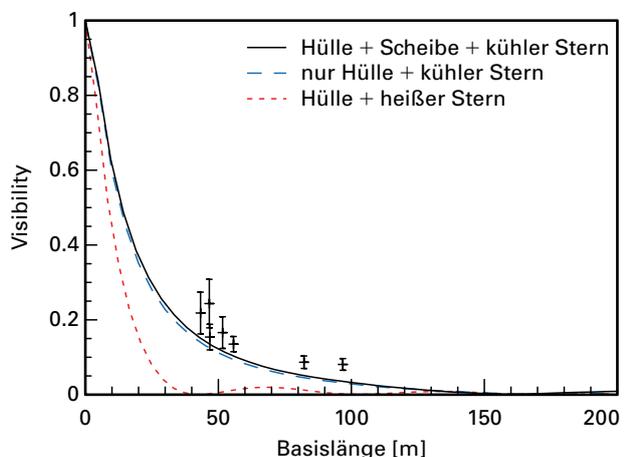
### Die Struktur massereicher Akkretionsscheiben auf der Grundlage analytischer Modelle

Nach diesen beobachtenden Charakterisierungen massereicher rotierender Strukturen widmen wir uns nun ihrer theoretischen Analyse. Die Doktorarbeit von Bhargav Vaidya beschäftigt sich grundsätzlich mit einer Untersuchung des Antriebs und der Beschleunigung von Jets und molekularen Ausströmungen in der Entstehung massereicher Sterne. Um jedoch die Randbedingungen für die Ausströmungen zu verstehen, müssen wir auch die Akkretionsscheiben verstehen, da die Ausströmungen von deren Oberfläche magneto-hydrodynamisch gesteuert werden. Eine Schwierigkeit ergibt sich, wie im vorausgehenden Abschnitt bereits erläutert, aus der Tatsache, dass die Ausströmungen ungefähr von der innersten Astronomischen Einheit der Akkretionsscheibe ausgehen, wir aber diesen Bereich so gut wie nicht beobachten können – auch nicht mit Interferometrie im nahen und mittleren Infrarot. Deshalb ist es wichtig, globale Scheibenmodelle zu entwickeln, die wir einerseits mit der Beobachtung von Scheiben bei Abständen vom Zentralstern von hunderten bis tausenden AE in Verbindung setzen können, und die andererseits die er-

**Abb. III.1.5:** Links: Die spektrale Energieverteilung (SED) von M8E-IR, dargestellt als Kreuze (gemessene Flussdichte) und Rauten (obere Grenzwerte). Die durchgehende schwarze Kurve zeigt die SED des geeignetsten Strahlentransportmodells (Scheibe + Hülle + kühler Stern). Die gestrichelte schwarze Linie kennzeichnet die ungerötete SED des aufgeblähten Zentralsterns für dieses bestimmte Modell. Die rote Punktlinie steht für das traditionelle Modell (nur Hülle und heißer Stern). Die eingefügte Vergrößerung der 8- bis 13- $\mu\text{m}$ -Region



unterstreicht die Qualität der Anpassung. Rechts: Vergleich der Modelle mit aufgeblasenem kühlem Zentralstern (schwarze durchgezogene und blaue gestrichelte Linie) und einer Standardkonfiguration mit sphärisch symmetrischer Hülle und heißem Zentralstern (rote gestrichelte Linie). Offenbar ist letztere nicht kompatibel mit den beobachteten Visibility-Werten, die hier als Pluszeichen einschließlich Fehlerbalken angezeigt werden.



morderlichen Randbedingungen innerhalb einiger weniger innerer AE offenlegen. In einem relativ einfachen und direkten Ansatz haben wir das bekannte Scheibenmodell von Shakura und Sunyayev (1973, A&A 24, 337) verwendet, das bereits umfassend für massearme Scheiben sowie für Scheiben um Schwarze Löcher verwendet wurde, und es an die massereichen Protosterne angepasst. Zusätzlich zu größeren und massereicheren Scheiben sowie einer höheren Leuchtkraft des zentralen Protosterns im Vergleich zu massearmen Scheiben nimmt hier auch der Viskositätsparameter  $\alpha$  höhere Werte an – er wird auf Werte zwischen 0.1 und 1 gesetzt, um die hohen Akkretionsraten zu berücksichtigen, die für die Entstehung massereicher Sterne innerhalb ihrer kurzen Entwicklungszeit von ca.  $10^5$  Jahren erforderlich sind. Daraus können einige interessante Merkmale der entsprechenden Scheiben abgeleitet werden.

Während die notwendigerweise hohen Akkretionsraten zwischen  $10^{-4}$  und  $10^{-3}$  Sonnemassen pro Jahr erreicht werden, stellen wir fest, dass die Scheiben innerhalb der inneren 100 AE gravitativ stabil sind, während sie auf größeren Skalen gravitativ instabil sind. Dies stimmt mit jüngeren hydrodynamischen 3D-Simulationen, bei denen innerhalb der entstehenden Akkretionsscheiben Fragmentierung und die Entstehung von Mehrfachsystemen festgestellt wurde (Krumholz et al. 2009), sowie mit der Stabilität der Scheibe, die mit IRAS 18151–1208 assoziiert wird (siehe oben), überein. Zudem ist die Temperaturverteilung der inne-

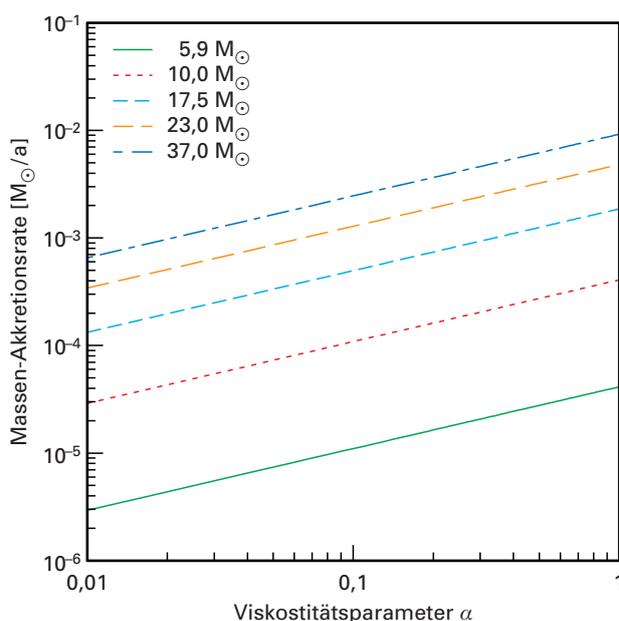
ren Akkretionsscheibe von großer Bedeutung. Wie in der Einleitung erläutert, ist der auf Staub einwirkende Strahlungsdruck, unabhängig von der Geometrie, ein ernsthaftes Problem bei der Entstehung massereicher Sterne. Da die optische Tiefe des Staubes die des Gases um Größenordnungen überschreitet, ist der Sublimationsradius des Staubes ein wichtiger Parameter für die Feststellung, ob der Strahlungsdruck problematisch ist. Aufgrund der hohen Viskosität und der hohen Akkretionsraten wird die Temperatur im inneren Bereich der Scheibe weniger durch die Strahlung des Zentralsterns bestimmt, sondern die viskose Aufheizung der Scheibe selbst dominiert innerhalb der inneren wenigen Dutzend AE. Das Modell zeigt, dass die Staubs sublimationsradien auf der Grundlage dieser viskosen Aufheizung der Scheibe die Sublimationsradien aufgrund der durch die Strahlung des Zentralsterns erzeugten Aufheizung um einen Faktor 3 bis 4 übersteigen. Dies verringert das Strahlungsdruckproblem enorm und ermöglicht somit trotz des durch den Zentralstern erzeugten hohen Strahlungsdrucks eine kontinuierliche Akkretion.

### Hydrodynamische 3D-Strahlungssimulationen kollabierender Kerne und Scheibenentstehung

Wir führen 3D-Simulationen der Entstehung massereicher Sterne und zugehöriger Phänomene wie der Entstehung von Scheiben und Ausströmungen durch. Dabei verfolgen wir zwei Ziele. Einerseits wollen wir die Effizienz der Sternentstehung für eine bestimmte Wolkenmasse physikalisch möglichst korrekt bestimmen. Andererseits wollen wir unsere Beobachtungsbefunde mit auf der Grundlage von hochaufgelösten 3D-Rechnungen simulierten Intensitätskarten vergleichen, um die physikalischen Prozesse der Entstehung massereicher Sterne besser zu verstehen.

Für die Code-Entwicklung haben wir den modernen magneto-hydrodynamischen (MHD) Code PLUTO gewählt, der ursprünglich in der Jet-Community entwickelt wurde. Er enthält eine Vielzahl von Hydro- und MHD-Solvern (alle vom Typ Godunov/Riemann) und erlaubt die Verwendung eines sphärischen Gitters, das sich unserer Meinung nach am besten für Simulationen eignet, bei denen es um rotierendes Material geht, z. B. kollabierende Wolken und entstehende Scheiben. Auf sphärischen Gittern lässt sich die Drehimpulserhaltung einfach realisieren. Durch Verwendung eines logarithmischen Rastermaßes in radialer Richtung konzentriert sich die Auflösung automatisch auf die interessanten Orte, z. B. das Zentrum des Gitters, rund um das entstehende Zentralobjekt. So erhalten wir einen wesentlich schnelleren und einfacheren Algorithmus als bei Einsatz der adaptiven Gittermethode (Adaptive Mesh Refinement – AMR) auf kartesischen Gittern. Während Letztere in den Frühphasen kollabierender turbulenter Wolken, wenn mehrfache Zentren ausfragmentieren,

**Abb. III.1.6:** Diese Darstellung zeigt die Variation der Massenakkretionsrate mit dem Viskositätsparameter  $\alpha$ . Die Staubs sublimationsradien aufgrund der viskosen Erhitzung betragen etwa das Dreifache der Sublimationsradien aufgrund der Erhitzung durch den Zentralstern. Die verschiedenen Linien stehen für unterschiedliche Spektraltypen von Sternen.



überlegen ist, eignet sie sich in den späteren Phasen weniger zur Untersuchung der Entstehung und Entwicklung von Scheiben.

Rolf Kuiper hat im Rahmen seiner Doktorarbeit Strahlentransport und Eigengravitation in den PLUTO-Code eingeführt. Insbesondere der Strahlungstransport muss exakt und schnell sein. Viele veröffentlichte Ergebnisse litten unter zu langen Rechenzeiten, sodass nur 2D-Rechnungen und kleine Gitter möglich waren. Oder der Strahlungstransport war allzu sehr vereinfacht und man musste sogar in AMR-Simulationen ziemlich grobe Gitter einsetzen. Aus diesem Grunde hat Rolf Kuiper unser Hybridstrahlungssystem in PLUTO eingeführt. Bei diesem System wird zunächst die Strahlung aus der Zentralregion des Gitters untersucht, so wird beispielsweise der neu entstandene Stern über frequenzabhängige Strahlenverfolgung (Raytracing) untersucht, um Strahlungsdruck und Gastemperatur speziell um die Staubzerstörungszone herum korrekt zu bestimmen. Die absorbierte und re-emittierte Strahlung wird dann über Flux-Limited Diffusion (FLD) in den optisch dicken Teilen der entstehenden zirkumstellaren Scheibe untersucht. Eine wichtige Zutat für die Entstehung massereicher Sterne, der Strahlungsdruck, der letztendlich die Masse der entstehenden Objekte begrenzt, wird ebenfalls genügend präzise untersucht, wie wir in einem Vergleich mit dem von Cornelis Dullemond entwickelten Monte-Carlo-Strahlungstransport-Code zeigen konnten.

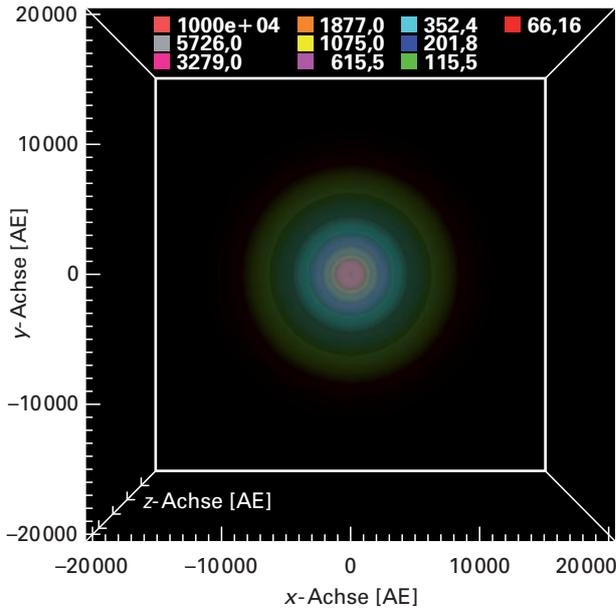
Der Diffusionsteil in unserem Strahlungsalgorithmus umfasst die Inversion einer Matrix, die implizit auszuführen ist – üblicherweise ein schwieriges Problem bei Parallelcodes mit Distributed-Memory-System. Deshalb haben wir den PLUTO-Code durch die PETSC-Bibliothek ergänzt, die beide parallelisiert sind und Parallel-Cluster wie PIA, den 256-Prozessoren-Cluster der Theoriegruppen am MPIA verwenden können. Wir haben die Parallelleistung der Generalized Minimal Residual Method (GMRES), die in den PETSC-Code implementiert wurde, getestet und ihre Stabilität, Skalierbarkeit und Zuverlässigkeit nachgewiesen. Die Poisson-Gleichung für die Eigengravitation des Gases ist mit der Diffusionsgleichung im Strahlungstransport numerisch verbunden. Deshalb verwenden wir dieselbe GMRES, wie oben erwähnt, auch für den Gravitationsolver in PLUTO.

Inzwischen haben wir auch 2D- und 3D-Testläufe für die Entstehung massereicher Sterne durchgeführt. In einem ersten Schritt haben wir unsere Ergebnisse mit den veröffentlichten 2D-Arbeiten von Yorke und Sonnhalter (2002) verglichen, wo der Kollaps für verschiedene Wolkenmassen in einem gestaffelten Satz zylindrischer Gitter berechnet wurde. Die Strahlung wurde ohne Ray-tracing, jedoch mit einem Multifrequenz-Diffusionsansatz untersucht. Der nicht-parallele Code litt enorm unter der langsamen Konvergenz des Solvers, sodass sich hoch aufgelöste Simulationen oder sogar 3D-Versuche von selbst ausschlossen.

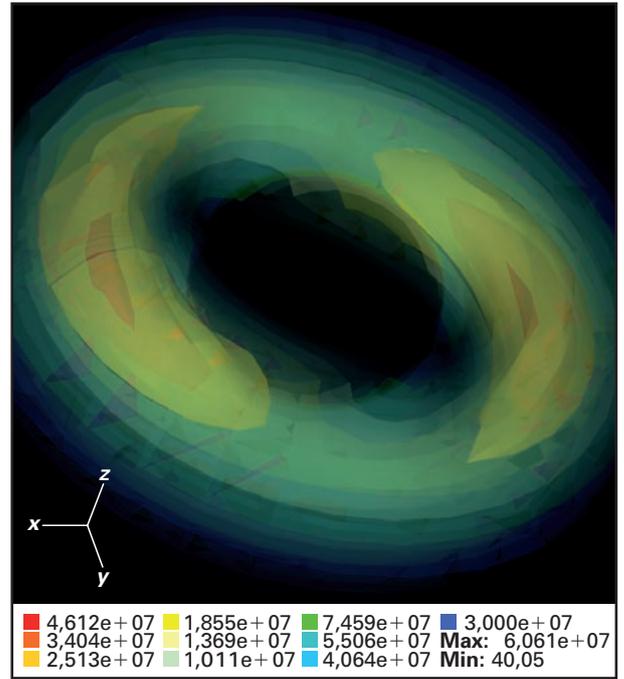
Ähnlich ihrer Standardkonfiguration simulieren wir den Kollaps einer rotierenden Wolke mit einem Durchmesser von 40 000 AE. Im Gegensatz zu Yorke und Sonnhalter nutzen wir allerdings ein einzelnes zentral kondensiertes sphärisches Gitter, das uns eine Auflösung von 40 AE je Gitterzelle bis zu 80 AE vom Stern entfernt ermöglicht. Es ist sogar noch mehr möglich, aber für einen Vergleich mit der publizierten Arbeit nicht erforderlich, wo die Auflösung aufgrund des dort verwendeten linear aufgeteilten zylindrischen Gitters noch etwas schlechter war. Die Massen- und Leuchtkraftentwicklung des Sterns wird mit einem speziellen Entwicklungscode für den Stern unter Verwendung der in der Hydrosimulation ermittelten Massenakkretion verfolgt. Wir konstatieren eine insgesamt gute Übereinstimmung zwischen beiden Simulationen in 2D, aber aufgrund des verbesserten Strahlentransports und des parallelen, modernen Matrix-Solvers GMRES eine wesentlich bessere numerische Leistung. Wir konstatieren zudem eine sehr schnelle, durch Strahlungsdruck forcierte Ausströmung von Hunderten von Kilometern pro Sekunde, die eine Aushöhlung in das noch immer kollabierende zirkumstellare Material bläst.

Weitere laufende Arbeiten werden jetzt die Auflösung weit über das bei Yorke und Sonnhalter Mögliche hinaus verbessern und auch das Gitter näher an den Stern heran bewegen, um eine Konvergenz der Modelle zu erreichen. Dennoch werden 2D-Modelle immer unter der Notwendigkeit leiden, dass die Viskosität, z. B. der Drehimpuls-transport, parametrisiert werden muss und nicht an sich untersucht werden kann. Auch die Entwicklung von nicht-achsensymmetrischen Mustern aufgrund von Eigengravitation und Strahlungsdruck ist ausgeschlossen, spielt aber dennoch eine Rolle bei der Bestimmung der endgültigen Masse des Zentralobjekts und für die mögliche Entstehung eines stellaren Begleiters auf dem Wege einer Fragmentierung der Scheibe. Deshalb müssen wir auch 3D-Modelle erstellen. Dort können wir auch die Rolle der Magnetfelder in der Kollapsphase, der turbulenten Phase der Scheibe und der Erzeugung und Kollimation von Jets untersuchen. Die Physik ist bereits einbezogen, aber um die Bestandteile sorgfältig zu testen, erstellen wir zuerst 3D-Simulationen einer nicht-magnetischen Wolke, wie in den 2D-Fällen, verwenden aber keine explizite Viskosität, um die Entwicklung eines eigengravitativen Musters in der Scheibe und im Drehmomenttransport über Gravoturbulenz zu berücksichtigen.

Wir beginnen mit derselben Konfiguration wie für die 2D-Simulationen, jedoch mit leicht gestörter Achsensymmetrie (Abb. III.1.7). Unser Gitter weist jetzt eine maximale Auflösung von 15 AE je Gitterzelle bis zu 80 AE vom Stern entfernt auf, dehnt sich aber immer noch bis 20 000 AE aus. Diese Simulation berücksichtigt zudem die komplette Thermodynamik plus Strahlungs-transport und benötigte lediglich einige hundert CPU-Stunden für die untersuchten niedrigauflösen-



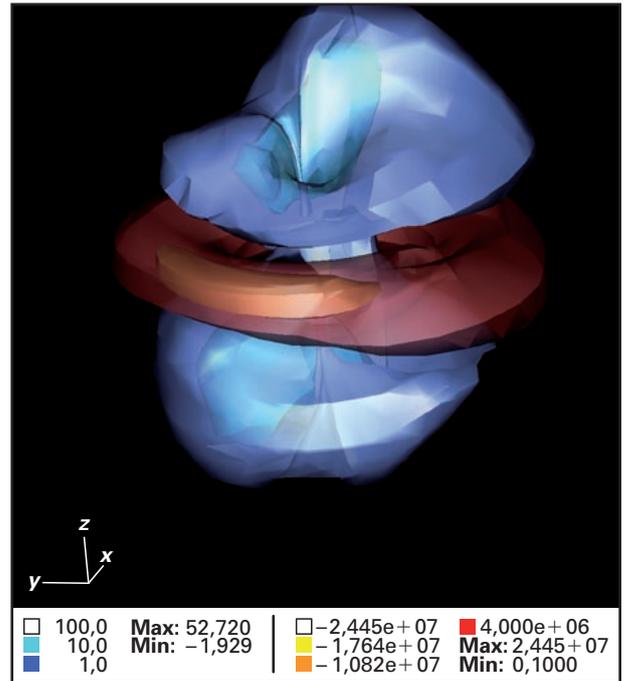
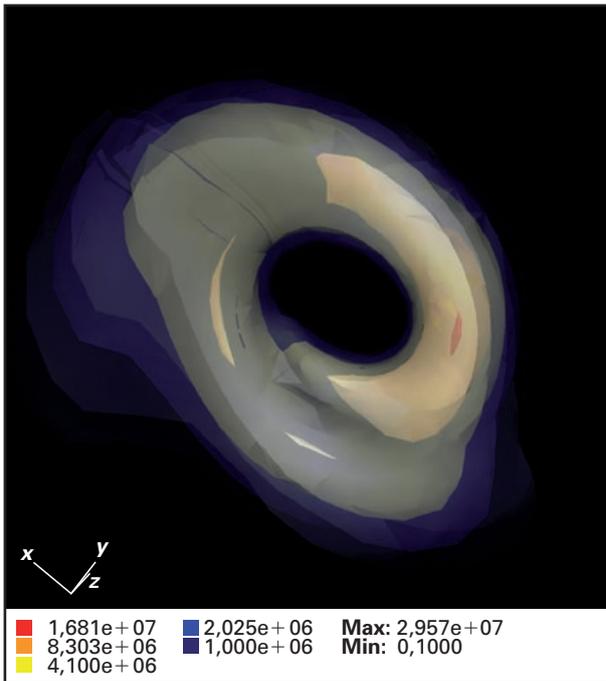
**Abb. III.1.7:** Links: Eine Momentaufnahme (Dichte) unserer hydromagnetischen 3D-Strahlungssimulation einer kollabierenden Wolke. Auf der großen Skala (bis zu 20000 AE) ist die kollabierende Struktur immer noch rein sphärisch. Rechts: Hier zoomen wir in das Zentrum des Feldes. Die dargestellte Struktur erstreckt sich etwa von 150 bis 300 AE. Die Parameter



sind ähnlich wie in der oben dargestellten 2D-Simulation, aber wir zeigen eine frühere Phase nach ungefähr 20000 Jahren auf dem Weg in den Kollaps.

**Abb. III.1.8:** In einer späteren Phase, z. B. nach 33000 Jahren, hat sich aus dem  $m = 2$ -Modus ein  $m = 1$ -Modus entwickelt und der Stern im Zentrum hat mehr Masse akkretiert. Bei diesem  $m = 1$ -Modus könnte es sich möglicherweise um den Ansatz der Bildung eines Begleiters aus der Fragmentation der Scheibe

handeln. Rechts zeigen wir in rot die Isoflächen der Scheibe und in blau die Isoflächen der Ausströmungsgeschwindigkeit. Man sieht gut, wie die beiden Blasen ebenfalls ihre nicht-achsensymmetrischen Muster ausbilden, was hier ein Effekt des Strahlungstransports und des Strahlungsdrucks ist.



den Fälle. Aber bereits bei dieser geringen Auflösung finden wir sehr interessante Effekte. Die massereiche Scheibe, deren Entstehung wir bereits in 2D-Durchlauf beobachtet haben, neigt jetzt zur Eigengravitation und der zugehörige Spiralarm bildet Instabilitäten, wie zu sehen ist, wenn wir in das Zentrum des Simulationsfeldes hinein zoomen (Abb. III.1.7). Hier zeigt die Scheibe mit einer ungefähren Ausdehnung von 150 bis 300 AE einen  $m = 2$ -Modus, der nach nur 20000 Jahren in den Kollaps führt.

Im weiteren Verlauf des Kollapses (z. B. nach 33000 Jahren) verschmilzt die zwei Maxima aufweisende Struktur in eine einzige einarmige Spirale und man erkennt ein einziges Dichtemaximum (Abb. III.1.8). Gleichzeitig beginnt der Strahlungsdruck das Gas entlang der Rotationsachse nach außen zu treiben, was zu einer Ausströmung und zur Bildung einer Aushöhlung führt, allerdings noch nicht so weit entwickelt wie im 2D-Fall, der sich auf die Zeit nach 50000 Jahren bezog.

In weiteren Arbeiten werden wir die Effekte der numerischen Auflösung, den physikalischen Parameterraum für Wolkenmassen und den Drehimpuls in der Wolke untersuchen, und dabei natürlich verfeinerte Staub- und Gasopazitäten und stellare Entwicklungsmodelle nutzen. Wie oben erwähnt, werden wir schließlich auch das MHD-Modul im PLUTO-Code für unsere 3D-Simulationen

nutzen, um sowohl die Effekte des B-Feldes nicht nur in der Kollapsphase, sondern auch die MRI-gesteuerte Entwicklung der Scheibe um den Stern und die mögliche Entstehung magneto-zentrifugal gesteuerter und magnetisch kollimierter Winde zu untersuchen, und zwar jeweils in Kombination mit Eigengravitation und Strahlungstransport auf unserem sphärischen Gitter. Ab Herbst 2009 werden wir mit einem neuen Postdoc auch unsere eigenen Randbedingungen und Anfangsbedingungen mit einer Magneto-Hydrostrahlungsversion der adaptiven Gittermethode nach Ramses erarbeiten. Dann werden wir in der Lage sein, großskalige Sternentstehungsprozesse zu untersuchen, sie umgekehrt mit der Entstehung von Scheiben und Jets auf kleinen Skalen zu verknüpfen und mit den Beobachtungen zu vergleichen, die wir verstehen möchten.

*Cassandra Fallscheer, Hendrik Linz,  
Bhargav Vaidya, Rolf Kuiper, Christian Fendt,  
Mario Flock, Kees Dullemond,  
Hubert Klahr und Henrik Beuther.*

*In Zusammenarbeit mit:  
Qizhou Zhang, T.K. Sridharan,  
Eric Keto, Steven Longmore (CfA, USA),  
Andrew Walsh (University of Townsville, Australia),  
Harold Yorke (JPL, USA)*

## III.2 Quo Vadis Jupiter? – Planeten auf der Flucht

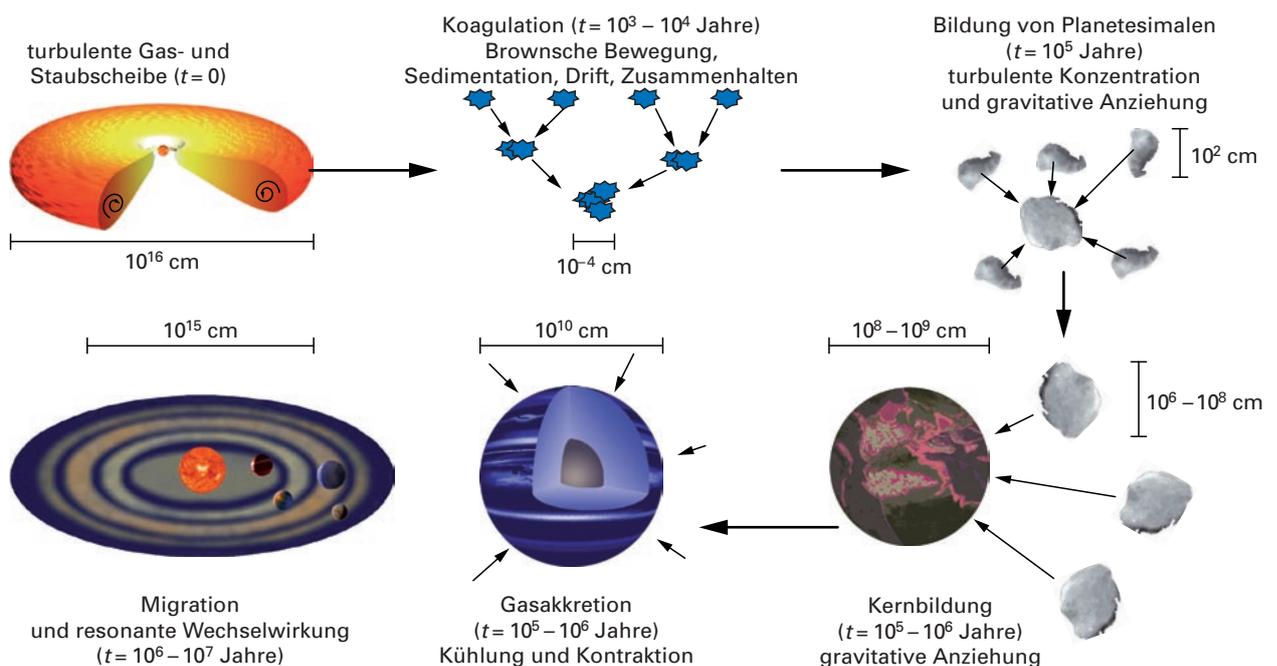
**Planeten wandern nicht nur um ihren Zentralstern, wie die altgriechische Wurzel ihres Namens bereits andeutet, sondern verändern während ihrer Entstehung und Entwicklung auch ihre große Halbachse. Sie können entweder mit dem Scheibengas wechselwirken über Gezeitenkräfte, die sowohl eine Migration zum Stern hin als auch vom Stern weg bewirken können, oder sich durch Gravitationskraft gegenseitig aus der Bahn werfen, wenn das System mehr als einen Planeten enthält. In beiden Fällen muss der Ort, an dem wir einen Planeten heute finden, nicht notwendigerweise sein Entstehungsort sein. Dieses Wandern der Planeten ist ein bedeutender Effekt für so genannte »Populations-synthesemodelle«, mit denen wir versuchen, typische Massen und Bahnhalbachsen für Planeten als eine Funktion der stellaren Masse und Metalizität vorherzusagen.**

Zwei Objekte, die sich gegenseitig gravitativ anziehen und sich frei im Raum bewegen, folgen in ihrer Umlaufbahn umeinander den Keplerschen Gesetzen. Kommt im System ein dritter Körper ins Spiel, so wird es chaotisch. Bereits kleine Abweichungen gegenüber dem ursprünglichen Zustand können einen schwerwiegenden Einfluss auf die dynamische Entwicklung des Systems haben. Es ist wirklich kompliziert, die Stabilität oder Instabilität eines aus drei oder mehr Körpern bestehenden Systems vorherzusagen, sodass man sich auf numerische Simulationen stützen muss, um das System

anhand gegebener Anfangsbedingungen zu überprüfen. Stabilität bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Körper zumindest eine begrenzte Zeit lang gravitativ aneinander gebunden bleiben, während Instabilität bedeutet, dass ein oder mehrere Objekte aus dem Mehrfachsystem ausgestoßen werden. Wissenschaftler, die sich mit der planetaren Dynamik beschäftigen, sprechen deshalb nur von einer garantierten Stabilität für eine Mindestzeit. So kann es beispielsweise geschehen, dass ein Planetensystem nach Milliarden von Umläufen seiner einzelnen Mitglieder auseinanderfällt.

Der Grund für die Änderung der großen Halbachse liegt in der Übertragung eines Drehimpulses von einem Körper auf einen anderen. Die Drehimpulsübertragung benötigt ein Drehmoment, bei dem es sich wiederum um eine Kraft handelt, die bezüglich der Umlaufbahn tangential auf ein Objekt wirkt. Das erklärt, warum im reinen Zwei-Körper-Problem keine Drehkräfte wirksam werden und der Drehimpuls für die beiden Körper strikt erhalten bleibt.

**Abb. III.2.1:** Das Standardmodell der Planetenentstehung – von Staubkörnern in zirkumstellaren Scheiben zu gasakkretierenden Kernen. Die endgültige Position eines Planeten wird erst im letzten Migrationsschritt innerhalb der Scheibe und durch die gravitationsbedingte Wechselwirkung mit den anderen Planeten festgelegt. (Quelle: H. Klahr, MPA 2008)



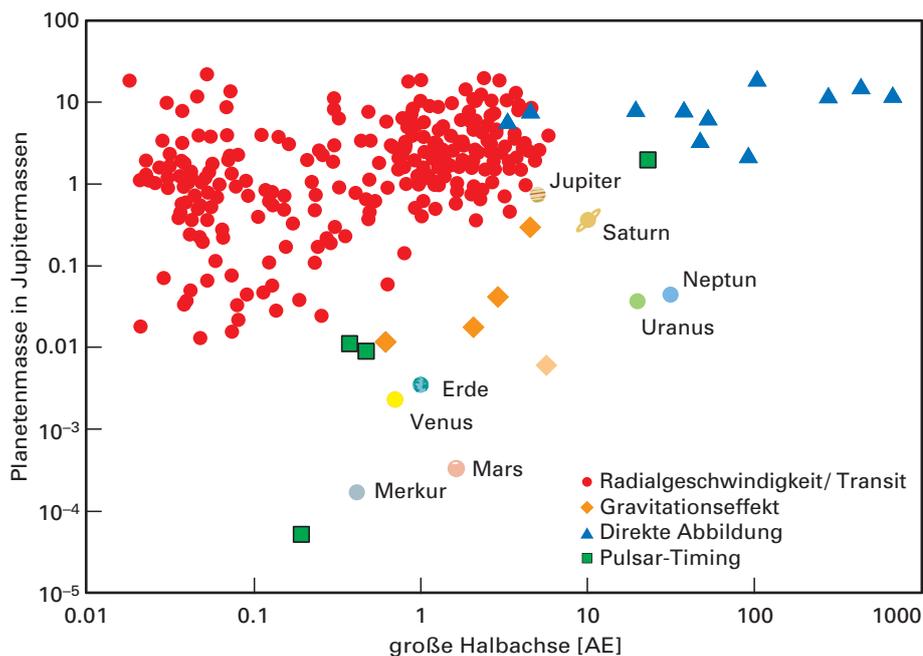
In einem neu entstandenen Planetensystem gibt es nicht nur zahlreiche Planeten, die gravitativ miteinander wechselwirken, sondern auch erhebliche Gasmengen, die nach dem Planetenentstehungsprozess übrig bleiben. Wir gehen sogar davon aus, dass die Gasmenge zumindest während der ersten Millionen Jahre die Masse aller Planeten zusammen um ein Vielfaches übersteigt. So bestand beispielsweise der Nebel, aus dem sich unser Sonnensystem entwickelt hat, ursprünglich aus ungefähr einem Zehntel Sonnenmasse an Staub und Gas. Aber davon wurden nur 0,2 Prozent zu Planeten. Jupiter, der größte dieser Planeten, macht 0,1 Prozent dieser Masse aus. Folglich ist davon auszugehen, dass eine riesige Gasmasse in der Scheibe bestand, mit der die Planeten wechselwirken konnten.

Nach dem Standardmodell für Planetenentstehung (siehe Abb. III.2.1) begann das Planetenwachstum mit Staubkörnern in Mikrometergröße, die über »hit and stick«-Mechanismen zu immer größeren Körpern angewachsen sind, bis die Schwerkraft das Ruder übernommen und viele Kilometer große Planetesimale geformt und gebunden hat. Die Gravitationsanziehung der Planetesimale wiederum führt zur Entstehung erdähnlicher Planeten. Und wenn sie ca. fünf Erdmassen überschritten haben, beginnen sie mit der Akkretion von Gas und werden zu Gasriesen, die hunderten Erdmassen entsprechen. Jupiter beispielsweise bringt 300 Erdmassen auf die Waage, wobei es sich nicht einmal um den massereichsten bekannten Planeten handelt. Eine obere Grenze ist schwer zu definieren, da ein Körper von mehr als 13 Jupitermassen nach der Konvention eher als Brauner Zwerg denn als Planet zu bezeichnen ist. Aber physikalisch gesehen gibt es keinen Grund, warum sich ein Planet nicht über die Akkretion von mehr und mehr Gas über diese Massengrenze hinaus entwickeln könn-

te. Tatsächlich verläuft die Massenverteilung der meisten Objekte, die in einer nahen Umlaufbahn um unsere Nachbarsterne gefunden wurden (siehe Abb. III.2.2), mehr oder weniger kontinuierlich von etwa 4 Erdmassen (oder 0,013 Jupitermassen) bis 25 Jupitermassen. Die untere Grenze ist sicherlich eine Folge der unterschiedlichen Nachweisbarkeit, da massereichere Objekte einfacher zu finden sind – trotzdem sagt uns das, dass die obere Grenze eine physikalische Bedeutung hat. In der Tat fehlen im Bereich der Braunen Zwerge Objekte mit mehr als 20 Jupitermassen in engen Umlaufbahnen um ihren Zentralstern. Dieses Phänomen wird als Braune-Zwerge-Wüste bezeichnet und wird uns möglicherweise eines Tages helfen, besser zwischen Planeten und missglückten Sternen, auch als Braune Zwerge bezeichnet, zu unterscheiden.

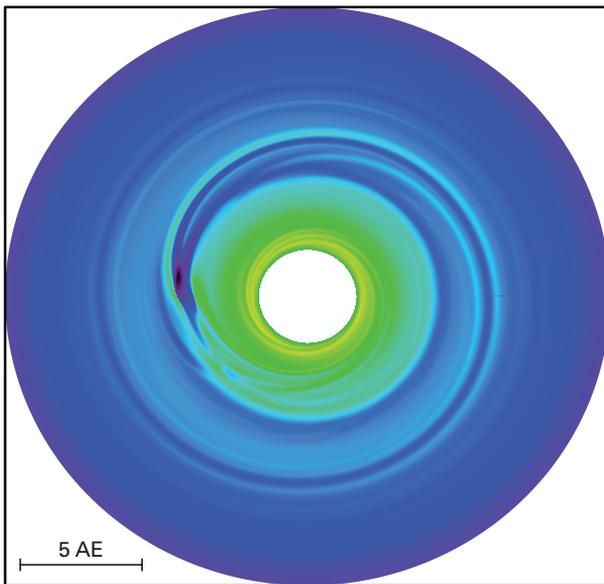
Physikalisch ist die obere Massengrenze für einen Planeten, der sich aus der Akkretion von Gas auf einen steinigen Kern entwickelt hat, kein einfaches Problem. Die Akkretionsrate hängt vom thermischen Zustand des Planeten, der lokal verfügbaren Gasmenge und der Entfernung zum Zentralobjekt ab. Wenn der Planet das gesamte, vor Ort zur Verfügung stehende feste und gasförmige Material aufgesammelt hat, wird er »aushungern« und grundsätzlich erst einmal nicht weiterwachsen. Eine Möglichkeit, dem Hungertod zu entgehen, besteht darin, sich woanders hin zu begeben.

**Abb. III.2.2:** Die Massen der bis Februar 2009 entdeckten Exoplaneten in Abhängigkeit von der großen Halbachse ihrer Umlaufbahnen. Ein signifikantes Ergebnis ist die obere Grenze für Planetenmassen und die riesige Menge sehr massereicher Planeten in der Nähe des Sterns. (Quelle: [www.exoplanet.eu](http://www.exoplanet.eu))



Ein migrationsfähiger Planet wird sich in Regionen begeben, in denen nach wie vor Gas zur Verfügung steht. Jahrhunderte lang haben Wissenschaftler, die sich mit der Planetenentstehung beschäftigen, Planetenkerne von einigen wenigen Erdmassen in ihr bevorzugtes Modell des Sonnenebels mit einer feststehenden großen Halbachse aufgenommen und die Gasmenge ermittelt, die im Laufe der Zeit auf den Planeten akkretiert wurde. In vielen derartigen Modellen gelang es nicht, Jupiter in einer für zirkumstellare Scheiben realistischen Lebenszeit, d. h. einige Millionen Jahre, entstehen zu lassen. Als die ersten heißen Jupiter entdeckt wurden, wurde die Situation sogar noch schlimmer. Die Menge des für die Planetenbildung verfügbaren Materials sollte in der Nähe des Sterns wesentlich geringer sein, aber die rund um unsere Nachbarsterne entdeckten Planeten sind zum Teil erheblich massereicher als Jupiter. Eine In-situ-Entstehung dieser Giganten würde eine extrem hohe Konzentration von Gas und Staub in der Nähe des Sterns erfordern, was weder zu den Beobachtungsergebnissen noch zu Entwicklungsmodellen von zirkumstellaren Akkretionsscheiben passt. Plötzlich erinnerte man sich an Planeten-Migrationsmodelle, die vor einigen Jahrzehnten aus der Physik der Satelliten in Saturns Ringsystem abgeleitet wurden. Da aber unser eigenes Sonnensystem keinen Hinweis darauf lieferte, dass eine Migration stattgefunden hat, verschwand die Theorie der Planetenmigration in den Niederungen nicht anwendbarer Theorien. Erst nach der Entdeckung von 51 Peg b, einem fast Jupiter-großen Planeten mit einer Umlaufzeit von vier Tagen um seinen Zentralstern, kam die Migration plötzlich wieder in Mode.

Die der Migration zugrunde liegende Physik wird wiederum durch Gravitationsanziehung und die daraus resultierenden Drehmomente gesteuert. Diese können den Drehimpuls eines Planeten verändern, der



durch Anpassung der großen Halbachse reagiert, und zwar abhängig vom Vorzeichen der Drehkräfte entweder zum Stern hin oder vom Stern weg. Hier ist die Gravitationsanziehung des Gases in der Scheibe und des Planeten zu berücksichtigen. In einer perfekt rotationssymmetrischen Scheibe ist natürlich auch die Gasverteilung vor und hinter dem Planeten symmetrisch, wobei die Symmetrieachse die Verbindungslinie zwischen Stern und Planet darstellt. Dies bedeutet, dass sich die gesamten Gravitationskräfte, die den Planeten hinsichtlich seiner Umlaufgeschwindigkeit vor und zurück bewegt, gegenseitig exakt aufheben und die daraus resultierende Nettodrehkraft gleich Null ist – es erfolgt keine Migration.

Weil aber der Planet selbst das Gas der Scheibe anzieht, stört er die Dichteverteilung im Gas. Würden Scheibe und Planet nicht den Zentralstern umlaufen, so gäbe es einfach eine weitere symmetrische Dichtestörung um den Planeten, wo das Gas leicht komprimiert würde. Dennoch wirkt aufgrund der Symmetrie keine Nettodrehkraft. Aber Scheibe und Planet umlaufen nicht nur den Zentralstern. Die Scheibe weist zudem annähernd ein Keplersches Geschwindigkeitsmuster auf. Das bedeutet, dass das Gas innerhalb der Planetenbahn, d. h. näher zum Stern, eine höhere Geschwindigkeit besitzt als der Planet und deshalb die Störung vom Planeten stromabwärts zieht. Außerhalb der Planetenumlaufbahn bewegt sich das Gas langsamer als der Planet und somit fällt der Störeinfluss in Bezug auf den Planeten zurück. Im Gleichgewicht wird die Störung auseinandergezogen, wobei sich in der Scheibe tatsächlich eine wunderschöne Spiralstruktur aufbaut (siehe Abb. III.2.3).

Die vom Spiralmuster auf den Planeten wirkende Nettodrehkraft ist jetzt leicht negativ, was bedeutet, dass der Planet an Drehimpuls verliert und radial nach innen driftet. Die Theorie konnte sich rühmen, dass sie die resultierenden Drehkräfte und damit die Migrationsgeschwindigkeit als Funktion der planetaren Masse in Abhängigkeit von der Primärmasse ermitteln konnte. Die analytischen Vorhersagen konnten in numerischen Simulationen reproduziert werden, welche die Gasdynamik mit großer Detailschärfe erfassen. Der dargestellte Fall wird als Typ-1-Migration eingeordnet und gilt für Planeten mit bis zu ca. 100 Erdmassen.

Sobald der Roche-Lobe des Planeten größer wird als die Scheibenstärke, z. B. die Druckskalenhöhe, bildet er eine Öffnung in der Scheibe. In diesem Fall entstehen keine signifikanten Drehkräfte mehr aus dem Material in der Nähe des Planeten und der Planet

**Abb. III.2.3:** Ein Planet mit 30 Erdmassen ist in eine zirkumstellare Scheibe eingebettet. Die Dichte ist farblich kodiert. Die Gravitationsanziehung durch den Planeten in Kombination mit der Keplerschen Scherung in der Scheibe führt zur Bildung eines stationären Spiralmusters. Das Gas wird bei dieser Simulation als lokal isotherm behandelt.

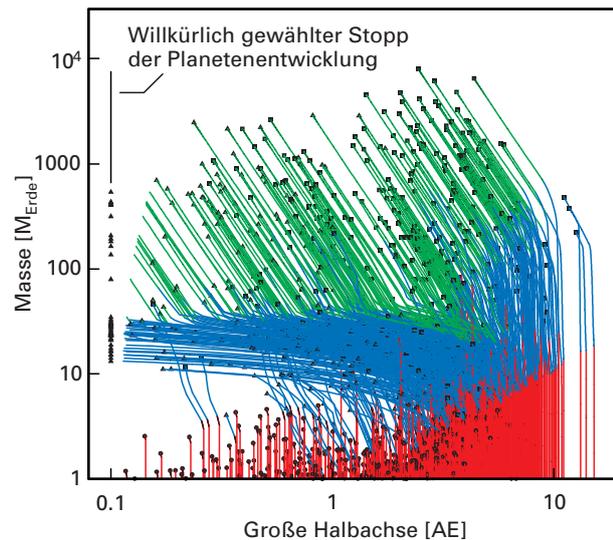
positioniert sich einfach selbst so im Zentrum der Öffnung, dass keine Nettodrehkraft besteht. Aber wenn die Scheibe akkretiert und damit kontinuierlich Materie in Richtung Stern strömt, erfährt auch der Planet einen Druck in Richtung Stern und migriert nach innen. Diese Situation, in der die Massenakkretion in der Scheibe die Migrationsgeschwindigkeit bestimmt, wird als Typ-2-Migration bezeichnet.

Ein dritter Migrationstyp könnte eintreten, wenn ein Planet an der Grenze zwischen einer Typ-1- und einer Typ-2 Migration, z. B. fast vor Eröffnung der Lücke, einen bedeutenden Kick von einem unfreundlichen Dämonen, oder genauer gesagt einem unspezifischen externen Störenfried, erhält. Wenn jetzt die lokale Scheibenmasse immer noch größer ist als die Planetenmasse, kann ein starker Materiestrom entweder von der äußeren Scheibe nach innen oder umgekehrt eintreten, was wiederum zu einer sehr schnellen, unkontrollierbaren Migration des Planeten führt. Dabei bestimmt die Richtung des Kicks, ob das Gas von innen nach außen strömt oder umgekehrt. Im ersten Fall bewegt sich der Planet nach innen, während er im letzteren Fall schnell Abstand zum Stern gewinnt. Solange der Störenfried in diesem sogenannten Typ-3-Migrationsszenario nicht identifiziert ist, kann man auch nur schwer beurteilen, wie wichtig dieser Migrationstyp ist und wie viele Planeten davon betroffen sein könnten.

Eine typische Migrationsgeschwindigkeit, wie sie aus der analytischen Beschreibung der Typ-2-Migration abgeleitet werden kann, liegt bei 100 000 Jahren für die Wanderung Jupiters von 5 bis 4 AE nach innen. Die Migrationsgeschwindigkeit für Planeten, die kleiner als der Saturn sind, dürfte proportional zur Planetenmasse abnehmen. Und jetzt stellt sich das Problem: Selbst wenn diese Migrationsgeschwindigkeit gering scheint, liegt sie noch immer über der Wachstumsgeschwindigkeit der kleinen Planeten. Mit anderen Worten: Sie bewegen sich nach innen und fallen in den Stern, bevor sie die komfortable Größe von 30 Erdmassen erreichen können, wenn die schnelle Gas-Akkretion einsetzt. Und von da an sind es nur einige tausend Jahre, bis die Jupitermasse erreicht ist. Offensichtlich kann mit den analytisch ermittelten Migrationsgeschwindigkeiten etwas nicht stimmen.

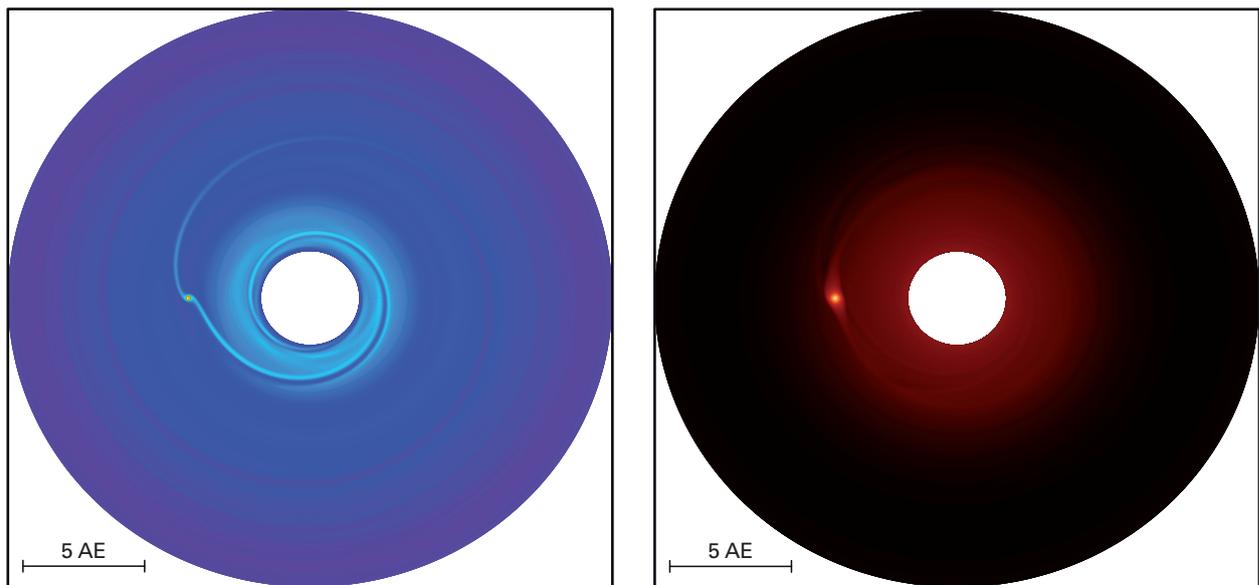
Willy Benz und seine Gruppe untersuchen die Vorhersagekraft der Planetenentstehungstheorie und haben deshalb unser gesamtes Wissen zur Planetenentstehung von der Scheibenentwicklung über die Planetenphysik bis zur Gasakkretion und zur Migration von Planeten kombiniert. Diese Populationssynthesemodelle können dann vorhersagen, welche typischen Planetenmassen bei einer bestimmten großen Halbachse zu erwarten sind (siehe Abb. III.2.4).

Für jede Simulation einer Planetenentstehung wird zunächst ein kleiner Protoplanet in einer zufällig gewählten Anfangsentfernung vom jungen Stern innerhalb einer Scheibe mit zufällig gewählten Eigenschaften platziert. Jeder Simulationslauf ist durch eine durchge-



**Abb. III.2.4:** Diese Modellrechnungen zeigen, welche Planetenmassen in welchen Entfernungen von einem sonnenähnlichen Stern zu erwarten sind. Das numerische Entstehungsmodell berücksichtigt unser aktuelles Wissen über Staub- und Gasscheiben um junge Sterne sowie die heutigen Theorien über verschiedene Planetenentstehungsprozesse, insbesondere die Planetenmigration. (Mordasini, Alibert und Benz 2009)

hende, mehrfarbige Linie, die Entstehungsbahn in der Masse-Entfernung-Ebene gekennzeichnet, die zeigt, wie der Protoplanet wächst und wandert. Die Massen werden in Einheiten der Erdmasse, die Entfernungen in Astronomischen Einheiten angegeben. Die zufällig gewählten Scheibeneigenschaften stammen aus Wahrscheinlichkeitsverteilungen, die von tatsächlich beobachteten Eigenschaften protoplanetarer Scheiben abgeleitet werden. Die planetaren Samenkörner beginnen ihr Wachstum an der unteren Grenze des Diagramms durch Akkretion zunächst von Planetesimalen und später auch von Gas. Aufgrund dieses Massezuwachses bewegen sie sich aufwärts entlang vertikaler Linien. Dann starten sie ihre Wanderung nach innen, wobei die Migrationsgeschwindigkeit durch die Masse des Planeten und der Gasscheibe bestimmt wird. Abhängig vom jeweiligen Typ dieses Migrationsprozesses sind die Entstehungsbahnen in rot, blau oder grün eingezeichnet. In dem Moment, in dem die protoplanetare Scheibe schließlich verschwindet, erreichen die Planeten ihre endgültige Position, dargestellt durch ein schwarzes Symbol. Man beachte, dass auch Planeten entstehen, die unseren Gasriesen ähneln. Da der Mechanismus, der die planetare Migration in der Nähe des Sterns abbrems, derzeit noch nicht verstanden ist, werden Simulationen ebenfalls willkürlich gestoppt, sobald ein Planet einen Abstand von 0,1 AE zum Zentralstern erreicht hat.



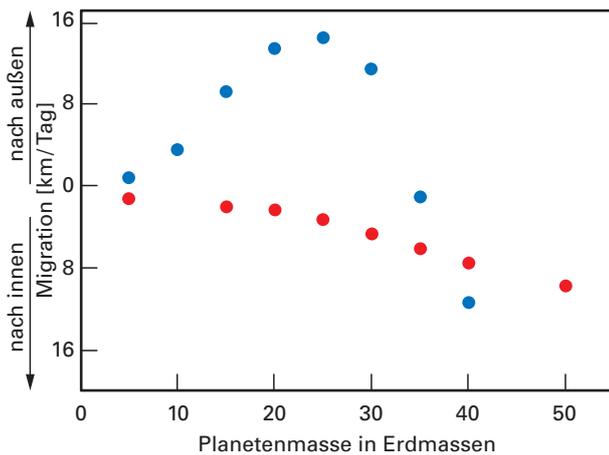
Wenn man ganz naiv vom Nominalwert der Migration ausgeht, entstehen fast überhaupt keine Gasriesen, sondern fast alle fallen infolge der schnellen Migration und des langsamen Wachstums in den Stern. Der Ausdruck »der letzte Mohikaner« machte die Runde, also die Vorstellung, dass alle entstandenen Jupiter in die Sonne fielen, aber der letzte gerettet wurde, weil sich die Scheibe im Laufe der Zeit auflöste. Dies ist eine ziemlich unbefriedigende Erklärung und würde den Prozess der Planetenentstehung zu einer sehr ineffizienten Angelegenheit machen, was irgendwie im Widerspruch zu der Fülle an Planeten rund um unsere stellaren Nachbarn steht.

Willy Benz und seine Gruppe haben vorgeschlagen, dass die Planeten in der Typ-1-Phase wesentlich langsamer wandern müssen, als in der analytischen Theorie vorhergesagt. Der beste Wert beträgt rund 1 Prozent des analytischen Wertes. Dies hat zwei Auswirkungen: Die Planeten wachsen schneller als im Falle der Nichtmigration, weil sie immer neue Nahrungszonen in der Scheibe erreichen (siehe oben), und sie wachsen, bevor sie in den Stern hineinfallen.

Aber warum sollten die Planeten langsamer wandern, als Theorie und numerische Analyse vorhersagen? Thermodynamik! Bis zu unserer 2004 durchgeführten Arbeit wurden alle Migrationsstudien für isothermische Scheiben durchgeführt. Für die gesamte Simulation wurde also von einer festgelegten Temperaturstruktur ausgegangen. Während sich die exakte Berücksichtigung von Erwärmung und Abkühlung, einschließlich Strahlungstransport, im Falle der Typ-2-Migration wenig verändert, ändert sie sich für die Typ-1-Migration enorm, wie zuerst von Pardekooper und Mellema erläutert. Sie fanden heraus, dass sich Planeten von 5 bis 20 Erdmassen nach außen statt nach innen bewegen dürften, wenn die Thermodynamik nicht isothermisch, sondern adiabatisch ist.

**Abb. III.2.5:** Dichte- und Temperaturverteilung für einen Planeten mit 30 Erdmassen in Wechselwirkung mit der zirkumstellaren Scheibe. Dieses Muster ist das Ergebnis einer nicht-isothermischen 3D-Hydrodynamik-Simulation.

Im letzten Jahr haben wir die numerischen Simulationen der Wechselwirkung der Planeten mit der Scheibe auf den vollständigen 3D-Fall mit flussdichte-limitierter Diffusion für den Strahlungstransport erweitert. Abb. III.2.5 zeigt die resultierende Dichte- und Temperaturstruktur desselben 30-Erdmassen-Planetens, der im isothermischen Fall eine so wunderschöne Spirale ausgebildet hatte (siehe Abb. III.2.3). In einem solchen realistischeren, aber auch komplizierteren Strömungsfeld heben sich die Drehkräfte des Materials, insbesondere in der Region, die gemeinsam mit dem Planeten rotiert, nicht mehr so einfach gegenseitig auf. Der exakte Wert der Nettodrehkraft hängt jetzt auch von der optischen Dicke des Gases (Flächendichte und Opazität) und vom Drehimpulstransport über die Gasturbulenzen ab. Abb. III.2.6 zeigt einen Vergleich zwischen den Migrationsgeschwindigkeiten als Funktion der Planetenmasse im isothermen Fall, die immer nach innen gerichtet sind, und dem Fall mit voller Strahlungshydrodynamik, der für einen bestimmten Massenbereich nach außen gerichtet ist. Derzeit implementiert Christoph Mordasini dieses Migrationsverhalten in das Populationssynthesemodell, das er noch in Bern entwickelte, so dass wir sehen werden, ob diese Fehlerbehebung im Migrationsverhalten ausreichend ist, die einprozentige Verfälschung aus dem Populationssynthesemodell zu eliminieren, und dann nach wie vor Populationen erzeugt werden, die mit der Beobachtung übereinstimmen.



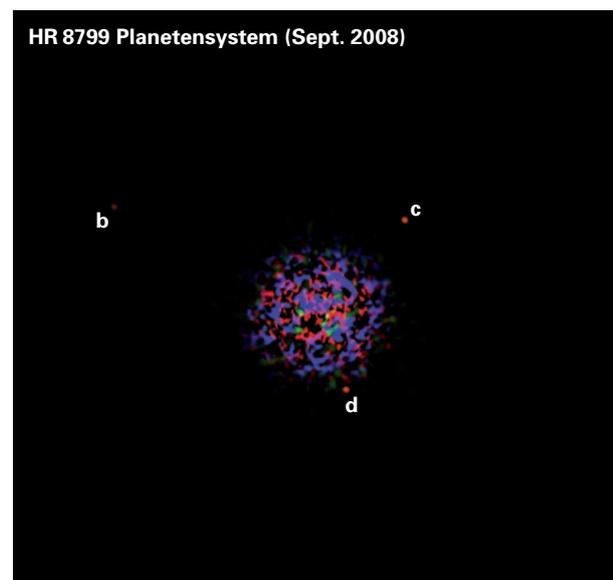
**Abb. III.2.6:** Migrationsgeschwindigkeit als Funktion der Planetenmasse: Die roten Kreuze kennzeichnen die Geschwindigkeit, die in analytischen und numerischen, allerdings isothermischen Modellen ermittelt wurden. Die blauen Kreuze markieren unsere neuen Werte für vollständige 3D-strahlungshydrodynamische Modelle. (Aus: Kley, Bitsch und Klahr 2009)

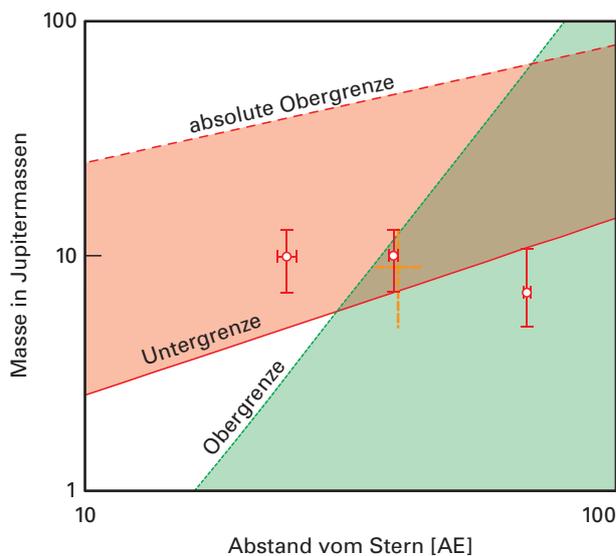
Die nach außen gerichtete Migration wurde ebenfalls als Erklärung für Planeten in sehr großer Entfernung zum Zentralstern herangezogen. Die direkt abgebildeten Planeten (siehe Abb. III.2.2) werden in Entfernungen von rund 30 AE bis mehreren hundert AU von ihrem Zentralstern entdeckt. Aber wie in Abb. III.2.4 zu sehen ist, entstehen jenseits von 10 AE fast keine Planeten mehr. Das Problem ist der lange Zeitraum, der benötigt würde, um jenseits von 10 AE einen Planetenkern zu bilden. Wahrscheinlich sind Neptun und Uranus nur entstanden, weil der junge Jupiter sie als Babys mit seinem Gravitationsdrehmoment vertrieb – dafür gibt es in der Tat starke Hinweise. Und natürlich dominiert Jupiter mit seiner rund zehnfachen Masse der äußeren Eisgiganten eindeutig das Sonnensystem im dynamischen Sinne. Man könnte sagen: Komm Jupiter nicht zu nahe oder er wird dich verstoßen. Für viele der direkt beobachteten Planeten wurde ein solcher Katapulteffekt diskutiert. Vielleicht wurden diese Planeten mit einer Masse von ca. 10 Jupitermassen auch näher beim Zentralstern gebildet und später durch einen noch massereicheren, noch weiter innen umlaufenden Planeten zu ihrem jetzigen Standort geschickt. Aber diese Objekte wären – falls sie existierten – in vielen Fällen bis heute entdeckt worden; das ist aber nicht der Fall, und damit ist ein solcher Katapulteffekt ausgeschlossen.

Eine Theorie lautete, dass die viskos-streuende Scheibe die nach außen wandernden Planeten mitriss. Allerdings lassen die enormen Entfernungen, die zurückzulegen sind, diese Vorstellung ebenso problematisch erscheinen. Das Problem, weshalb wir uns eine Entstehung dieser Planeten in großen Entfernungen

von ihren Zentralsternen nicht vorstellen können, liegt in der Annahme, dass sie durch Akkretion auf einen Kern entstanden sind, wie oben beschrieben. Aber warum nicht eine Planetenentstehung ohne Kern? Wir können bei Beobachtung eines Planeten nicht wirklich sagen, ob er rund um einen Kern entstanden ist oder nicht. Selbst für Jupiter ist die Existenz eines Kerns in seinem Zentrum noch immer umstritten. Die unbekanntesten Eigenschaften der Zustandsgleichung für Jupiter-Materie haben einen stärkeren Einfluss auf seine Größe als die Existenz dieses geringen zusätzlichen Potentials von 5 bis 10 Erdmassen in seinem Zentrum. Ein solches alternatives Szenario, das ohne Kern auskommt, existiert in der Tat. Wenn die zirkumstellare Scheibe bei bestimmten Entfernungen zum Stern hinreichend massereich ist, sodass die Eigengravitation zu einem lokalen Gravitationskollaps innerhalb der Scheibe führt, und andererseits hinreichend optisch dünn, um innerhalb der Kollapszeit abzukühlen, können sich dort im Prinzip Planeten mit mehreren Jupiter-Massen aus reinem Gas innerhalb weniger hundert Jahre bilden. Die Bedingungen für diesen Kollaps sind üblicherweise nicht bei den Radien erfüllt, bei denen wir die meisten Planeten finden. Und selbst wenn die Scheibe bei 5 AE, wo Jupiter entstanden sein könnte, hinreichend massereich wäre, würde sie nicht fragmentieren, da die Abkühlungszeit, welche die Kollapszeit eines Scheibenfragments zu einem Planeten bestimmt, viele Umlaufzeiten umfasst. Währenddessen wäre das anfängliche Fragment bereits auseinander gelaufen, weshalb die Scheibe, anstatt zu fragmentieren, durch Gravoturbulenzen reagieren und Masse und Drehimpuls schnell neu verteilen würde, bis sie nicht mehr selbstgravitierend wäre.

**Abb. III.2.7:** Drei direkt beobachtete Planeten, die den Stern HR 8799 umkreisen. (Quelle: Ch. Marois/Keck/Gemini 2008)





**Abb. III.2.8:** Die tatsächlichen Massen und Orte des Systems HR 8799 b,c,d und der anhand der kritischen Flächendichten bestimmte zulässige Bereich. Durchgezogene Linie = untere Grenze (Eigengravitation), gepunktete Linie = obere Grenze (Abkühlungsrate), gestrichelte Linie = absolute obere Grenze (Scheibenmasse entspricht der Hälfte der stellaren Masse).

Bei Radien von mehr als 20 bis 30 AE findet man jedoch – abhängig von stellarer Masse, Metallizität und Leuchtkraft – die Bedingungen für eine Scheibenfragmentierung erfüllt, wie wir kürzlich nachweisen konnten. Als Beispiel für unser Modell verwenden wir das System HR 8799, das drei Planeten mit 10, 10 und 7 Jupitermassen bei 24, 38 und 68 AE beherbergt (siehe Abb. III.2.7).

In unserem Modell, das aus hydrostatischen, vertikalen Scheibenatmosphärenmodellen besteht, können wir die Abkühlungszeiten und den Toomre-Parameter  $Q$  ermitteln (Fragmentierung tritt bei  $Q \leq 1$  ein). Auf der Grundlage eines kompletten Satzes lokaler Modelle können wir ermitteln, welche Werte der Flächendichte zur Fragmentierung führen würden, weil sie hoch genug für Eigengravitation und niedrig genug für schnelle Abkühlung sind. Aus diesen Flächendichten lässt sich die wahrscheinliche Masse der Fragmente ableiten, wie in Abb. III.2.8 gezeigt.

Interessanterweise befindet sich nur der mittlere Planet in der zulässigen Region. Aber wenn wir davon ausgehen, dass alle drei Planeten ursprünglich mit der-

selben großen Halbachse entstanden sind, und diesen Ort über die Drehimpulserhaltung berechnen, landen die drei Planeten genau in der für Scheibenfragmentierung zulässigen Region. Deshalb ist es vorstellbar, dass die drei Planeten tatsächlich alle bei ca. 40 AE entstanden sind und sich dann zu ihrem jetzigen Ort hin bewegt haben. Die Wechselwirkung mit der verbliebenen Scheibe hätte dann die Exzentrizitäten der verlagerten Planeten reduziert und sie in kurzer Zeit auf Kreisbahnen gebracht. Eine Migration innerhalb einer solchen eigengravitierenden Scheibe ist ebenfalls möglich, wurde aber noch nie ausreichend erforscht.

Generell kann man sagen, dass die Rolle der gegenseitigen gravitativen Streuung der Planeten (eine Art Schleudereffekt, der auftritt, wenn sich zwei Planeten sehr nahe kommen) bei der Erstellung von Populationssynthesemodellen viel zu wenig Beachtung gefunden hat, da dieser Schleudereffekt sehr dramatisch ausfallen kann. Aufgrund der chaotischen Natur der Mehr-Körper-Wechselwirkungen ist es schwierig, aber nicht unmöglich, diese Effekte bei künftigen Synthesemodellen zu berücksichtigen. Konservativ gesehen könnte man die Modelle zunächst in Bezug auf Planeten in geringen Abständen vom Zentralstern verbessern, für die auch die meisten Daten zur Verfügung stehen, anhand derer man die Parameter der Modelle überprüfen müsste. Wie wir gesehen haben, ist die Berücksichtigung der richtigen Migrationsgeschwindigkeit eine Möglichkeit, dies zu realisieren.

Aber Verlangsamung und Umkehr der Typ-1-Migration ist leider nicht das einzige Problem, das wir mit in Scheiben wachsenden Planeten haben. Die nächste Frage, die sich stellt, ist die, was die Gasriesen bei den kleinen Abständen vom Zentralstern – dort, wo wir sie heute finden – abbremst. Magnetfelder, Gezeitenkräfte vom Stern und ein innerer Rand der Scheibe gehören zu den diskutierten Ursachen, wobei allerdings bis heute keine Standardtheorie mit quantitativen Ergebnissen vorliegt. Dies ist derzeit die brennendste Frage in Bezug auf die Planetenentstehungs- und Migrationstheorie und wir – wie auch viele andere Gruppen weltweit – arbeiten derzeit daran, eine Antwort auf diese Frage zu finden.

*Hubert Klahr, David Foltin, Christoph Mordasini,  
In Zusammenarbeit mit  
Willy Benz (Bern), Yann Alibert (Besançon),  
Willy Kley und Bertram Bitsch (Tübingen)*

### III.3 Blick in die Zentren naher aktiver Galaxien

**Die Energieerzeugung in aktiven galaktischen Kernen (Active Galactic Nuclei, AGN) entsteht durch Akkretion von Materie auf ein supermassereiches Schwarzes Loch. Das einheitliche Schema für stark akkretierende AGNs geht davon aus, dass der Zentralmotor in eine ringförmige Struktur aus Gas und Staub, den so genannten Torus, eingehüllt ist. Wir berichten über Beobachtungen im mittleren Infrarot mit dem MIDI-Inferometer am VLTI (Very Large Telescope Interferometer), welche die Tori in den nächstgelegenen Seyfert-2-Galaxien räumlich auflösen und eine komplexe Struktur vermuten lassen, welche aus einer kompakten inneren Scheibe besteht, die in einen ungleichmäßigen bzw. filamentartigen äußeren Torus eingebettet ist. Unsere Beobachtungen können unter Zuhilfenahme hydrodynamischer Torus-Modelle und Strahlungstransportrechnungen nachvollzogen werden. Die bekannte nahe Radiogalaxie Centaurus A zeigt jedoch kaum Anzeichen für einen Torus. Ihre Emission im mittleren Infrarot wird stattdessen durch nichtthermische von der Basis des Radiojets ausgehende Strahlung dominiert. Demzufolge enthalten nicht alle AGN-Klassen einen dicken Torus.**

Das einheitliche Schema zur Beschreibung aktiver galaktischer Kerne (AGN) führt die verschiedenen Typen von AGNs auf einen Sichtlinieneffekt zurück: Es geht davon aus, dass die zentrale Maschine, ein akkretierendes supermassereiches Schwarzes Loch, in einen ringförmigen Torus aus Gas und Staub eingebettet ist. Deshalb sind die heiße Akkretionsscheibe und die umgebende Broad-Line-Region (BLR) nur bei Betrachtung entlang der Torusachse sichtbar. Dies ist in Seyfert-1-Galaxien der Fall, deren optische Spektren durch ein blaues Kontinuum und breite Emissionslinien charakterisiert sind. Bei Seitenansicht wird jedoch der direkte Blick auf den Kern durch den Staubtorus versperrt und sind nur schmale Emissionslinien aus Regionen ober- und unterhalb des Torus sichtbar. Das Objekt erscheint dann als Seyfert-2-Galaxie. Spektro-polarimetrische Beobachtungen von Seyfert-2-Galaxien, die breite Linien in Streulicht zeigen, unterstützen diese Vorstellung (siehe Untersuchung von Antonucci, 1993). Das UV- und optische Licht, das vom Staub im Torus eingeschlossen ist, dürfte den Staub auf einige hundert Kelvin erhitzen und der Staub dürfte die absorbierte Strahlung im mittleren Infrarot re-emittieren. Tatsächlich zeigen die spektralen Energieverteilungen (engl.: Spectral Energy Distributions – SED) im Bereich von  $\lambda = 3 \mu\text{m}$  bis  $30 \mu\text{m}$  sowohl bei Seyfert-1- als auch bei Seyfert-2-Galaxien Signaturen von AGN-erhitztem Staub. Es bleibt die Frage, ob auch in Radiogalaxien Staubextinktion eine ähnliche Rolle spielt.

Als noch kein VLT-Interferometer (VLTI) zur Verfügung stand, blieben Größe, Form und innere Struktur des Torus unerforscht, wenn auch Spektren im mittleren Infrarot den Staub innerhalb einiger weniger Parsec um den Kern lokalisierten. Einzelne 8-Meter-Teleskope können Strukturen dieser Größenordnung im mittleren Infrarot nicht auflösen. Selbst im L-Band ( $3,6 \mu\text{m}$ ) ist ein beugungsbegrenztes 8-Meter-Teleskop auf eine Auflösung von 93 Millibogensekunden beschränkt. Bei der Entfernung naher Seyfert-Galaxien, etwa NGC 1068 oder NGC 4151 (14 Mpc), entspricht dies 6,5 Parsec. Diese Situation hat sich drastisch verändert, seit im Dezember 2002 MIDI, das interferometrische Instrument für mittleres Infrarot, beim VLTI in Betrieb gegangen ist. MIDI beobachtet im N-Band ( $\lambda = 8 \dots 13 \mu\text{m}$ ). Bei Einsatz der weitesten Teleskopseparation (UT1–UT4) von 125 m beträgt die Breite der Punktverbreiterungsfunktion ( $\sim \lambda/2B$ ) bei  $\lambda = 8 \mu\text{m}$  nur 7 Millibogensekunden oder 0,5 Parsec in der Entfernung von NGC 1068. Aber beim Start von MIDI waren zwei wesentliche Fragen offen: 1. Würde MIDI für extragalaktische Quellen empfindlich genug sein? 2. Würden es uns Beobachtungen mit einer Handvoll Basislinien erlauben, die Staubverteilung im Torus zu rekonstruieren und so wissenschaftlich verwertbare Erkenntnisse verschaffen? In diesem Artikel wird erläutert, warum beide Fragen heute uneingeschränkt mit Ja beantwortet werden können.

---

#### Interferometrie mit MIDI im mittleren Infrarot

MIDI ist ein klassisches Sterninterferometer des Michelson-Typs. Es kombiniert die Strahlengänge von zwei Teleskopen (siehe auch Jahresbericht 2003, S. 31). Die für die meisten AGN-Beobachtungen erforderliche Empfindlichkeit ist nur durch Kombination von zwei der vier 8-Meter-Unit-Teleskope (UTs) des VLTI zu erreichen. Die höchste Empfindlichkeit zum Nachweis und zur Verfolgung der Interferenzmuster wird durch Einfügen eines Prismas in den interferometrischen Strahlengang erreicht, welches das Licht im N-Band spektral dispergiert. Für hellere Objekte kann ein Grism (Gitter-Prisma) mit höherer Auflösung verwendet werden. In beiden Fällen liefert MIDI auf seinem Detektor Spektren, die gleichzeitig spektrale und interferometrische Informationen enthalten. Zum Extrahieren dieser Informationen ist eine spezielle Analyse-Pipeline erforderlich.

Beobachtungen der zu untersuchenden Objekte müssen durch Standardsternbeobachtungen ergänzt werden, die mit einer identischen Instrumentenkonfiguration

gewonnen werden, um die variable Transmission der Atmosphäre zu kompensieren.

Das wesentliche Ergebnis der Pipeline-Analyse ist ein Spektrum der (kalibrierten) korrelierten Flussdichte  $F_{\text{corr}}(\lambda)$  in einem Bereich von 8 bis 13  $\mu\text{m}$  (siehe Abb. III.3.1 b,c,d). Räumliche Informationen über die Struktur der Quelle können durch Vergleich von  $F_{\text{corr}}(\lambda)$  bei unterschiedlichen Teleskopseparationen oder Basislinien gewonnen werden. Eine Basislinie ist durch ihre Länge und ihren Positionswinkel gekennzeichnet und wird oft durch ihre Koordinaten  $u, v$  beschrieben, welche die sogenannte  $uv$ -Ebene bilden. Zu den tatsächlich gemessenen  $uv$ -Punkten kann die Gesamtflussdichte  $F_{\text{tot}}(\lambda)$  hinzuaddiert werden, die von einem einzelnen Teleskop erfasst wurde, im Wesentlichen äquivalent zu einer Beobachtung mit Null-Basislinie (siehe Abb. III.3.1a). Verschiedene Basislinien können entweder durch den Einsatz verschiedener Teleskopkombinationen oder durch Beobachtung der Quelle während ihrer scheinbaren Bewegung am Himmel mit einer festen Teleskopkombination realisiert werden.

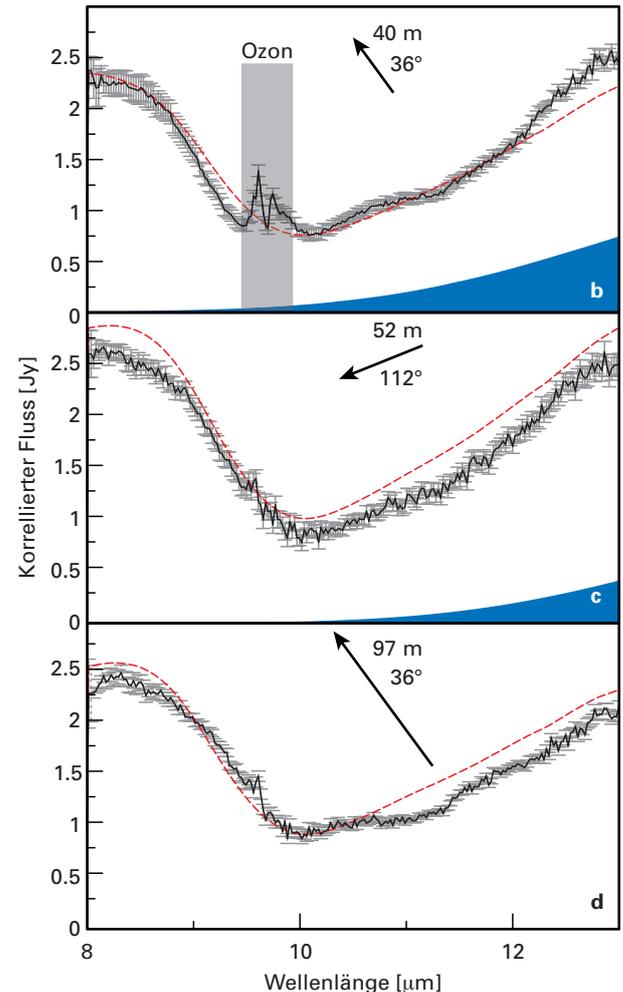
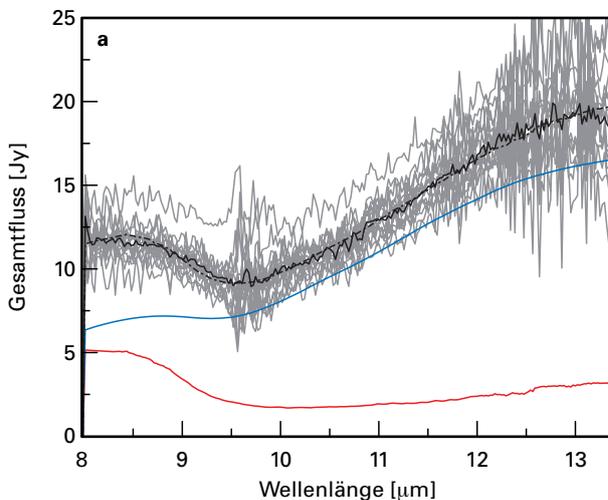
Wie aus Abb. III.3.1 ersichtlich, sind die AGN-Spektren zwischen  $\lambda = 8,5$  und  $12,5 \mu\text{m}$  oft durch einen breiten Absorptionstrog dominiert, der durch Silikat-

staubkörner verursacht wird. Das exakte Profil dieses Silikatmerkmals hängt von der chemischen Zusammensetzung, Größe und kristallinen Struktur der Körner ab. Deshalb löst die N-Band-Interferometrie eines AGN nicht nur die räumliche Struktur des Staubes in der Kernregion auf, sondern kann auch Informationen über die Eigenschaften des Staubes innerhalb weniger Parsec im innersten Kern liefern.

### Der Staubtorus von NGC 1068

Der erste mit MIDI beobachtete AGN war die prototypische Seyfert-2-Galaxie NGC 1068. Es ist die hellste extragalaktische Quelle im N-Band am südlichen Himmel. Bei ihrer Entfernung von 14,4 Mpc entspricht ein Parsec einem Winkel von 14 Millibogensekunden – damit werden Parsec-große Strukturen mit MIDI am VLTI gerade aufgelöst. Die frühesten MIDI-Beobachtungen von NGC 1068 wurden ein halbes Jahr nach Inbetriebnahme von MIDI in der »Science Demonstration Time« des VLTI gewonnen. Damals wurden jedoch nur zwei Visibility-Punkte beobachtet. (Siehe auch Jahresbericht 2005, S. 32)

**Abb. III.3.1:** Ergebnisse der MIDI-Beobachtungen von NGC 1068. (a) Gesamtflussdichte  $F_{\text{tot}}(\lambda)$ : Der Beitrag der heißen Komponente ist rot dargestellt, der der erweiterten Komponente blau. (b) Korrelierte Flussdichte  $F_{\text{corr}}(\lambda)$ , erfasst mit einer Basislinie von 40 m, Orientierung entlang Positionswinkel P.W. =  $36^\circ$ . Die rot gepunktete Linie zeigt die Modellanpassung, die blau schattierte Fläche zeigt die Verteilung der ausgedehnten Komponente. (c)  $F_{\text{corr}}(\lambda)$  für eine Basislinie von 52 m entlang P.W. =  $112^\circ$ . (d)  $F_{\text{corr}}(\lambda)$  für eine 97-Meter-Basislinie entlang P.W. =  $36^\circ$ . Der Vergleich zwischen (b) und (c) zeigt, dass die korrelierte Flussdichte der heißen Komponente, die das hier gezeigte Spektrum dominiert, entlang P.W. =  $112^\circ$  geringer ist, d. h. dass die heiße Komponente in dieser (Südost-Nordwest) Richtung besser aufgelöst (ausgedehnter) ist.



Neue Beobachtungen mit MIDI erfassen die  $uv$ -Ebene wesentlich besser: 15 Visibility-Punkte wurden mit den Teleskopkombinationen UT1-UT3, UT1-UT4 und UT2-UT3 erhalten. Eine zusätzliche Messung mit der orthogonalen Basislinie UT3-UT4 erwies sich für die folgenden Ergebnisse als entscheidend. Um die Details des Silikatabsorptionsprofils zu untersuchen, wurde ein Grism mit höherer Auflösung verwendet.

Selbst bei dieser vollständigeren  $uv$ -Erfassung ist eine direkte Bildrekonstruktion nicht möglich, weil mit MIDI nur zwei Teleskope gleichzeitig verwendet werden können. Bei einer Kombination von lediglich zwei Teleskopen ist es nicht möglich, sogenannte Phase-Closure-Techniken einzusetzen, um die Phase des interferometrischen Signals wiederherzustellen, das zur Reproduktion eines Bildes aus der Quelle erforderlich wäre. Deshalb müssen die gemessenen  $F_{\text{corr}}(\lambda)$ -Spektren für verschiedene Basislinien nach wie vor anhand einfacher Modelle interpretiert werden. Bemerkenswerterweise beschreibt ein Modell aus zwei Komponenten mit Gaußscher Helligkeitsverteilung und Schwarzkörperspektrum die korrelierten Flussdichtedaten ziemlich gut. Unter Einschluss der längsten VLT-Basislinien UT1-UT3 und UT1-UT4 grenzen die Messungen Größe, Form und Ausrichtung der heißen Innenkomponente des Staubtorus sehr genau ein: Hauptachse 20 Millibogensekunden (1,4 pc FWHM), Orientierung entlang P.W. =  $138^\circ$ . Diese Komponente ist deutlich elongiert,  $b/a = 0,25$ , was auf eine geometrisch dünne (scheibenähnliche?) Struktur hinweist. Für ihre Temperatur kann nur eine untere Grenze von 800 K festgelegt werden. Der Mangel an kurzen Basislinien, kleiner als 50 Meter in Ost-West-Richtung, macht die Erfassung von Gesamtgröße und Form der ausgedehnten Torus-Komponente unsicher. Ihr Durchmesser liegt bei ungefähr 3,5 pc, aber ihre exakte Form bleibt nach wie vor durch kürzere Basislinien entlang Ost-West zu ermitteln. Solche Basislinien werden von den Hilfsteleskopen (Auxiliary Telescopes – ATs) geliefert. Ein MIDI-Beobachtungsprogramm mit Hilfsteleskopen läuft zurzeit und konnte bei NGC 1068 bereits Fringes nachweisen.

Die große Achse der heißen Komponente ist genau so orientiert wie eine Reihe von Wassermasern, die sich vom (Radio-) Kern aus ungefähr 20 Millibogensekunden in Richtung Nordwesten erstreckt, wenn auch die relative astrometrische Position nicht ermittelt werden kann. Erstaunlicherweise passt die Ausrichtung ihrer kleinen Achse (P.W. =  $48^\circ$ ), welche die Symmetrieachse einer geneigten Scheibe markieren könnte, nicht gut zur Quellenachse, wie sie von Ausflussphänomenen vorgegeben wird: Der innere Radiojet ist fast exakt nach Norden ausgerichtet (P.A. =  $2^\circ$ ), während sich der Ionisationskegel zwischen P.A. =  $-5^\circ$  und P.A. =  $+30^\circ$  öffnet. Für das standardmäßige Torus-Szenario ist das ein Rätsel: Der offene Trichter, der ein Entweichen der ionisierenden UV-Photonen ermöglicht, dürfte durch die Drehimpuls-Barriere verursacht werden und deshalb an

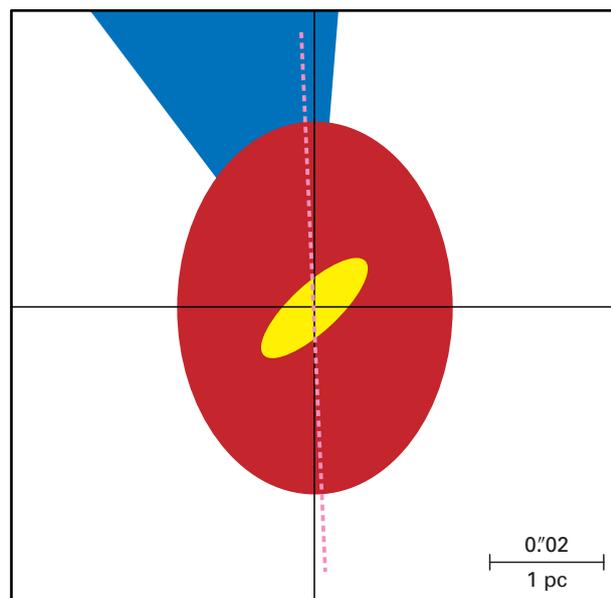
der Rotationsachse der Gasverteilung ausgerichtet sein. Wie könnte sich aus diesem Gas eine geneigte Scheibe bilden? Möglicherweise handelt es sich bei der heißen Innenkomponente nicht um eine rotationsgestützte Struktur (Scheibe), sondern eher um eine fadenförmige Verdichtung (Filament) oder einen heißen Kanal.

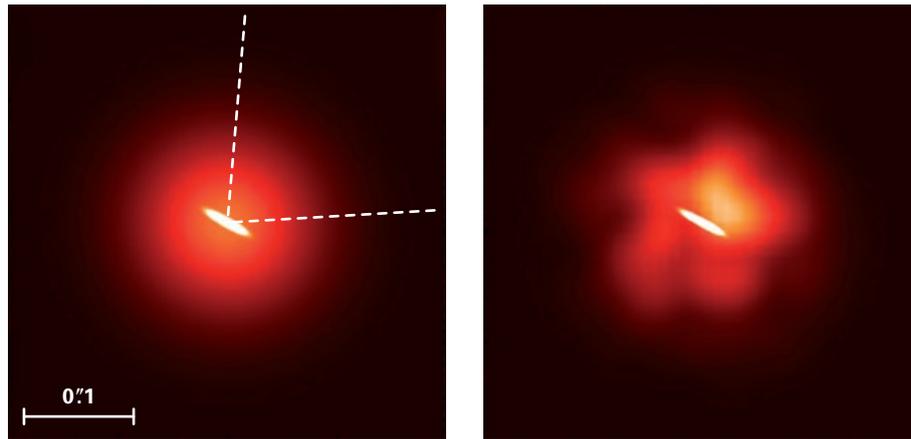
Weitere Erkenntnisse über die Eigenschaften des Staubes können aus der Tiefe der Silikatabsorption abgeleitet werden. In der Gesamtflussdichte, die durch die äußere Komponente dominiert wird (Abb. III.3.1a), ist die Absorptionstiefe bei  $10\ \mu\text{m}$  moderat,  $\tau_{10} = 0,4$ , während die Tiefe in Richtung der inneren Komponente fast fünfmal so groß ist,  $\tau_{10} = 1,9$  (Abb. III.3.1b, c, d). Offensichtlich befindet sich der Großteil des Staubes auf dem Sehstrahl in der äußeren Komponente.

### Der Staubtorus in der Circinus-Galaxie

Die Circinus-Galaxie in einer Entfernung von 4 Megaparsec ist die nächstgelegene Seyfert-Galaxie und weist alle Merkmale einer klassischen Seyfert-2-Galaxie auf: schmale erlaubte und verbotene Spektrallinien, starke Silikatabsorption und ein stark absorbiertes Röntgenspektrum. Ein ausgedehnter Konus von Emissionsliniengas und die Präsenz breiter Linien im polarisierten optischen Fluss (verursacht durch Streuung) zeigen, dass sich die zentrale Maschine unserer direkten Beobachtung durch eine erhebliche Staubmenge entzieht.

**Abb. III.3.2:** Aus der Beobachtung abgeleitetes Modell des Staubtorus von NGC 1068. Eine heiße Komponente (gelb) ist in eine ausgedehnte kühlere Komponente (rot) eingebettet. Die Ausrichtung der Radioachse wird durch eine gepunktete Linie angezeigt. Der blaue Keil zeigt den Öffnungswinkel des Ionisationskegels an, beobachtet auf 100-pc-Skalen. Norden ist oben, Osten links.





**Abb. III.3.3:** Der Staubtorus in der Circinus-Galaxie. Das linke Bild zeigt das glatte Modell, bestehend aus zwei Gaußschen Helligkeitsverteilungen; das rechte Bild illustriert das passendste ungleichmäßige Modell. Die Strichlinien zeigen den Öffnungswinkel des Ionisationskegels.

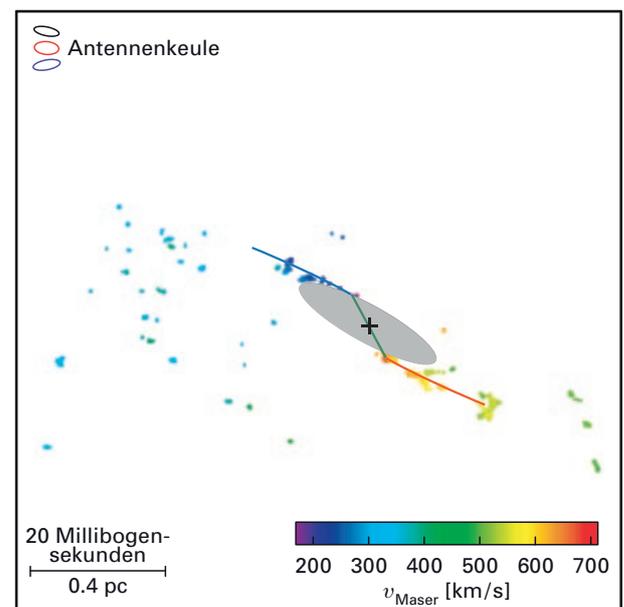
Circinus ist eine von der Seite gesehene Spiralgalaxie. Also könnte ein Mehrfaches der visuellen Extinktion durch die Staubfilamente in der Spiralscheibe verursacht sein, hinter denen sich die Kernregion befindet.

Die stark südliche Deklination von Circinus ( $\delta = -65^\circ$ ) macht die Galaxie zu einem fast idealen Beobachtungsobjekt für das VLTI: In langen Winternächten kann sie fast zwölf Stunden lang beobachtet werden, was aufgrund der Erdrotation eine Drehung der projizierten Basislinie zwischen jeweils zwei Unit-Teleskopen um bis zu  $180^\circ$  ermöglicht. In fünf Beobachtungsläufen während der garantierten Beobachtungszeit mit MIDI konnten wir 21 Visibility-Punkte aufnehmen, die meisten davon mit den kürzesten VLTI-Basislinien UT2-UT3 und UT3-UT4. Sie liefern die vollständigste  $uv$ -Erfassung, die bis heute für eine extragalaktische Quelle erreicht wurde.

Wie bei NGC 1068 sind mindestens zwei Komponenten der Gaußschen Helligkeitsverteilung erforderlich, um die korrelierten Flussdichten zu modellieren: Eine kompakte Komponente (Hauptachse  $a = 0,4$  pc, Achsenverhältnis  $b/a = 0,2$ ) und eine fast runde, erweiterte Komponente (FWHM: 1,9 pc, siehe Abb. III.3.3). Im Gegensatz zu NGC 1068 liegen die Farbtemperaturen der Innen- und Außenkomponente beide bei rund 300 K, mit einem Unterschied von weniger als 50 K. Jedoch scheint die Außenkomponente nicht gleichmäßig mit Staub einer konstanten Temperatur gefüllt zu sein. Beim Vergleich ihrer durchschnittlichen Flächenhelligkeit mit der eines Schwarzen Körpers erhält man einen Abdeckungsfaktor von nur 20 Prozent. Zudem werden die beobachteten korrelierten Flussdichte-Werte durch eine glatte Gauß-Verteilung nur schlecht reproduziert, sondern scheinen sich eher darum herum zu »schlängeln«, wenn sie als

Funktion der Basislinienausrichtung dargestellt werden. Um zu testen, ob eine ungleichmäßige Helligkeitsverteilung den Fit verbessern könnte, haben wir die glatte Gauß-Verteilung mit einer Vordergrundmaske zufällig verteilter Modifikationen der Transmission variiert. Tausende unterschiedlicher Masken wurden realisiert, die Bilder einer Fourier-Transformation unterzogen und mit den beobachteten korrelierten Flussdichte-Werten verglichen. Und tatsächlich erhielten wir mehrere ungleichmäßige Masken, welche die Beobachtungen wesentlich besser reproduzieren als das glatte Modell. Das geeignetste Modell ist im rechten Feld von Abb. III.3.3 zu sehen. Interessanterweise zeigt es ein helles Gebiet auf der Achse des Ionisationskegels. Wir interpretieren diesen Befund dahingehend, dass unsere interferometri-

**Abb. III.3.4:** Überlagerung der kompakten Staubkomponente in Circinus mit dem Ort der (verbogenen) Scheibe aus Wassermasern nach Gallimore et al., 2004.



schen Daten einen Hinweis auf die Existenz von heißerem Staub nahe an einem offenen Trichter enthalten, der die ionisierende Strahlung abgrenzt.

Größe und Ausrichtung der inneren, scheibenartigen Komponente passen wiederum sehr gut zu der bekannten Scheibe aus Wassermasern, die ein Kepler-Rotationsmuster aufweisen (Abb. III.3.4). Obwohl der Ort der Staubemission hinsichtlich der Maserscheibe mit unseren MIDI-Beobachtungen nicht ermittelt werden kann, ist die Wahrscheinlichkeit sehr groß, dass beide Scheiben am selben Ort sind: In diesem Fall müsste die innere Staubkomponente ebenfalls als rotationsgestützte Scheibe interpretiert werden.

Bemerkenswert ist, dass die Tiefe der Silikatabsorption in Richtung auf die Staubkomponenten im Circinus ein anderes Verhalten zeigt als die in NGC 1068 beobachtete: Bei Circinus ist die Tiefe der Silikatabsorption in Richtung auf die inneren Komponente flacher als in Richtung auf die äußere Komponente. Offensichtlich ist die Extinktion durch die äußere Staubkomponente hindurch nicht sehr hoch und wird der Absorptionstrog zum Teil mit Silikatemission aus der Staubscheibe aufgefüllt.

### Die Radiogalaxie Centaurus A

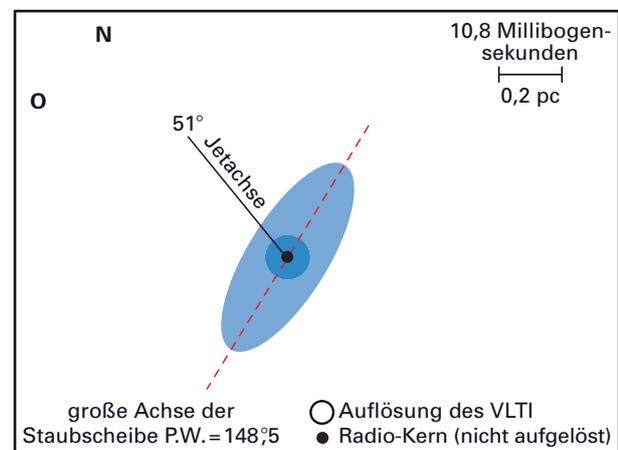
Die Radiogalaxie Centaurus A (= NGC 5128) spielt eine Schlüsselrolle in der extragalaktischen Astronomie: In einer Entfernung von nur 3,8 Mpc ist sie die nächstgelegene große elliptische Galaxie, der nächstgelegene Fall einer Galaxienverschmelzung und der nächstgelegene stark veränderliche AGN. In ihrer Entfernung entspricht 1 Parsec einem Winkel von 53 Millibogensekunden. Die Radioquelle kann auf einer Winkelskala über sieben Größenordnungen verfolgt werden, von den VLBI-Jets (einige Millibogensekunden) bis zu den äußeren Lobes (mehrere Grade). Die Extinktion im Staubschweif der verschmelzenden Spiralgalaxie behindert unseren Blick auf den Kern von Centaurus A in erheblichem Maße. Deshalb sind Beobachtungen bei Infrarotwellenlängen unverzichtbar.

Centaurus A wurde 2005 mit MIDI unter Verwendung der Teleskopkombinationen UT3-UT4 und UT2-UT3 beobachtet. Bei beiden Kombinationen wurden zwei Visibility-Punkte erhalten, die ungefähr zwei Stunden auseinander lagen. Die projizierte Basislinie mit UT3-UT4 wurde grob senkrecht zum Parsec-Radiojet ausgerichtet, während UT2-UT3 nach dem Jet ausgerichtet wurde. Wir fanden heraus (Abb. III.3.5), dass die Emission im mittleren Infrarot senkrecht zur Jet-Achse mit einer auf 60 Meter projizierten Basislinie marginal aufgelöst ist, während sie entlang der Jet-Achse unaufgelöst bleibt. Daraus schlossen wir, dass die 8 – 13- $\mu\text{m}$ -Emission aus dem Kern von Centaurus A von einer unaufgelösten Punktquelle (FWHM < 6 mas) dominiert wird, die zur Gesamtflussdichte bei  $\lambda = 13 \mu\text{m}$  bzw.  $\lambda = 8 \mu\text{m}$  zwischen 50 und 80 Prozent beiträgt. Die aus-

gedehnte Komponente ist sehr klein (FWHM  $\sim 30$  mas) und scheint senkrecht zur Radioachse ausgerichtet zu sein (siehe Skizze in Abb. III.3.5). Allerdings ist eine bessere  $uv$ -Erfassung (einschließlich längerer Basislinien) notwendig, um Größe, Form und Ausrichtung dieser erweiterten Komponente genauer zu bestimmen. Wir interpretieren die erweiterte Komponente als Staubemission einer kleinen, geneigten Scheibe (Durchmesser = 0,6 pc). Die unaufgelöste Komponente identifizieren wir mit dem nicht-thermischen »Synchrotronkern« von Centaurus A, da wir feststellen, dass – nach Korrektur um die Vordergrundextinktion  $A_V = 14$  mag (abgeleitet aus der Tiefe der Silikatabsorption) – ihr Flussdichtenniveau und Spektrum genau auf der Extrapolation des Potenzspektrums liegen, das bei Millimeterwellenlängen beobachtet wurde. Zusammen mit der Photometrie bei kürzeren Wellenlängen (von HUBBLE und der AO-Kamera NACO am VLTI) passt die Flussdichte der unaufgelösten Punktquelle perfekt zu einem kanonischen Synchrotron-Spektrum: Sie ist gekennzeichnet durch ein ziemlich flaches Potenzgesetz,  $F_\nu \sim \nu^{-0,36}$ , das bei der Frequenz  $\nu_n = 8 \times 10^{13}$  Hz exponentiell abbricht. Wir interpretieren diesen »Synchrotronkern« als die Basis des Radio-Jets. Unsere interferometrischen Ergebnisse für Centaurus A zeigen, dass die im mittleren Infrarot wirksamen Strahlungsprozesse nicht durch thermische Staubemission eingeschränkt werden.

Die thermische Staubemission aus dem Kern von Centaurus A ist sehr schwach, mehr als 20 Mal schwächer als die der Circinus-Galaxie in derselben Entfernung. Wir glauben, dass sowohl ein Mangel an Staub innerhalb des inneren Parsec als auch das Fehlen einer ausreichend starken Wärmequelle dafür verantwortlich sind. Mit Sicherheit enthält Centaurus A weder einen Torus, der unsere Sichtlinie erheblich behindert, noch eine UV-

**Abb. III.3.5:** Skizze unseres Modells für die Emission im N-Band aus dem zentralen Parsec von Centaurus A. Eine unaufgelöste Punktquelle ist von einer leuchtschwachen Staubscheibe umgeben.



optisch helle, zentrale Akkretionsscheibe. Am wahrscheinlichsten ist, dass die Akkretion auf sein schwarzes Loch über einen advektionsdominierten Akkretionsfluss erfolgt, der sehr ineffizient ist, was die Umwandlung von Akkretionsleistung  $\dot{m} c^2$  in Strahlung betrifft.

### Modelle des Torus

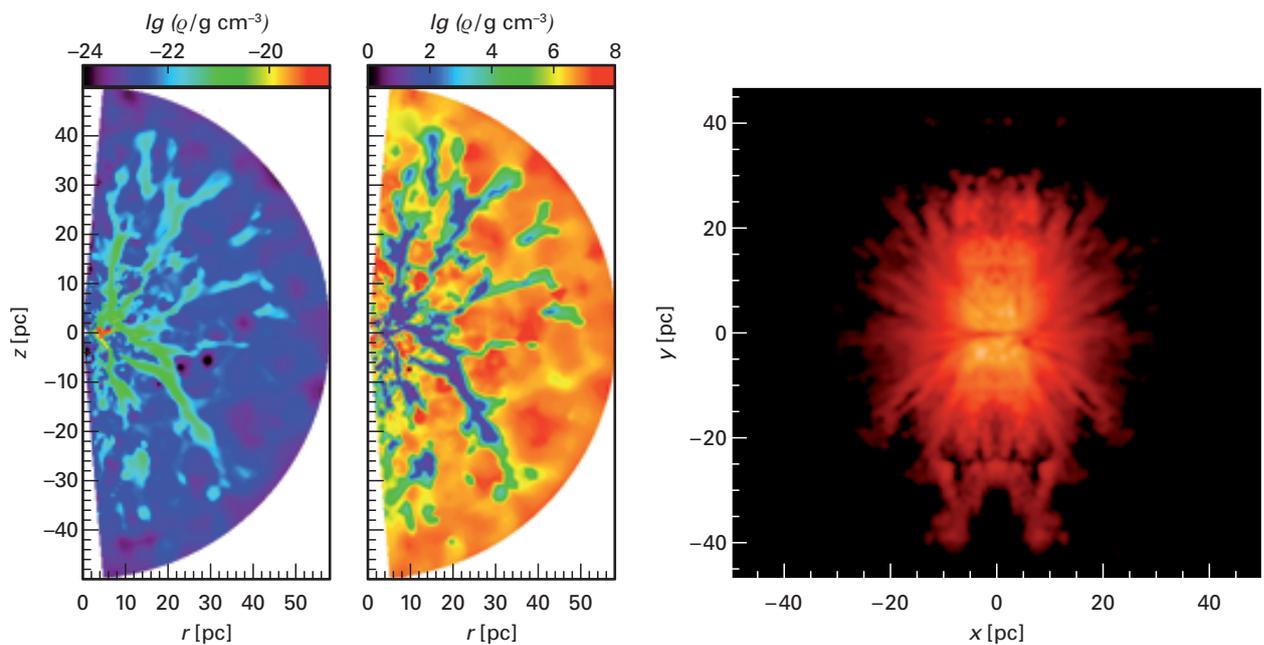
Das Konzept eines ringförmigen Torus, der kontinuierlich mit Gas und Staub gefüllt wird, ist eine stark vereinfachte, geometrische Vorstellung. Bereits vor 20 Jahren haben Julian Krolik und Mitchell Begelman darauf hingewiesen, dass er aus einer riesigen Zahl einzelner Wolken bestehen müsste, die um den AGN-Kern kreisen. Allerdings würden regelmäßige Kollisionen der Wolken miteinander ein solches System sehr instabil machen. Innerhalb weniger Umlaufzeiten würde sich das System zu einer geometrisch dünnen Scheibe entwickeln. Zu weiteren Argumenten für eine klumpige Substruktur des Torus zählen: die breit gestreute und kontinuierliche Verteilung der röntgenabsorbierenden Wasserstoffsäulendichten zwischen Seyfert-1- und Seyfert-2-Galaxien und mehrere Fälle veränderlicher breiter Linien in den Spektren von AGNs, was auf eine veränderliche zentrale Verdunkelung hinweist. Strahlungstransportberechnungen von »klumpigen« Torusmodellen zeigten, dass ein weiteres Problem der kontinuierlichen Torusmodelle – nämlich ihre Vorhersage einer starken Silikatemission in Seyfert-1-

Galaxien, die selten beobachtet wurde – erklärbar ist durch Abschattungseffekte in einer klumpigen Struktur. In einer aktuellen Studie zeigen wir durch komplette 3D-Strahlungstransportrechnungen, dass eine große Vielzahl von Wolkenverteilungen in der Lage ist, das im mittleren Infrarot beobachtete Spektrum zu erzeugen. Darüber hinaus finden wir bei der Simulation interferometrischer Beobachtungen eines solchen klumpigen Torus ähnliche »Schlängelungen« im korrelierten Fluss, wie sie bei Circinus beobachtet wurden.

Trotz des Erfolges von Strahlungstransportmodellen zur Erklärung der infraroten spektralen Energieverteilungen von AGN können diese Simulationen das Stabilitätsproblem, das von Krolik und Begelman erläutert wurde, nicht lösen: Wie lässt sich die geometrisch dicke Verteilung von Wolken aufrechterhalten? Zur Behandlung dieser Frage ist ein hydrodynamisches Modell erforderlich, das eine realistische Masseninjektion in den Torus simuliert und die Entwicklung der Gaswolken verfolgt. Wir entwickeln derzeit ein Torusmodell für Seyfert-Galaxien, das von den folgenden Annahmen ausgeht: Das Zentrum der Galaxie beherbergt einen massereichen jungen Sternhaufen (Alter zwischen 40 und 100 Millionen Jahren). Der Massenverlust der Sterne über Planetarische Nebel und Sternwinde injiziert Gas und Staub in das System, während regelmäßige Supernova-Explosionen das Gas aufwühlen. Lokal wird das Gas komprimiert und die nachfolgende Kühlungsinstabilität führt zur Bildung dichter und kühler Filamente (siehe Abb. III.3.6). Zwischen diesen Filamenten bilden

**Abb. III.3.6:** Hydrodynamisches Torusmodell. *Links:* Gasdichte und Temperatur in einem Meridionalschnitt. *Rechts:* Dieses Bild wäre bei  $\lambda = 12 \mu\text{m}$  bei einem Blick auf die Kante des

Torus zu beobachten. Die Simulationen beziehen sich auf einen AGN, der eine fünfmal stärkere Leuchtkraft hat als NGC 1068.



Hohlräume aus sehr heißem Plasma Überdruckregionen, die radial entlang des Dichtegradienten expandieren. So werden die kühlen Filamente ebenfalls radial gestreckt. Das kühle Gas und der kühle Staub strömen einwärts entlang der Filamente und sammeln sich zu einer sehr dichten, turbulenten Scheibe mit einem Radius von wenigen Parsec.

In einem zweiten Schritt wird der Strahlungstransport durch die simulierte Dichteverteilung berechnet (unter Annahme eines Standard-Gas/Staub-Verhältnisses in allen Zellen mit Temperaturen unterhalb der Sublimationstemperatur). Die so erzeugten Bilder im mittleren Infrarot (rechtes Feld in Abb. III.3.6) reproduzieren die fadenförmige Dichtestruktur. Sie können zur Erklärung des »ungleichmäßigen« äußeren Torus herangezogen werden, der bei Circinus relativ gut zu beobachten ist. Es sollte jedoch angemerkt werden, dass die zentrale turbulente Staubscheibe in unseren Simulationen dunkel erscheint (rechtes Feld in Abb. III.3.6). Durch Variation der Masseninjektion und der Supanova-Raten wird eine Reihe von Torusmodellen erzeugt. Die Beobachtung dieser Modelle unter unterschiedlichen Blickwinkeln kann die breite Streuung der Wasserstoffsäule in Seyfert-Galaxien (über mehr als drei Größenordnungen) erklären, während die Veränderung in der Silikatabsorptionstiefe (von echter Absorption bis zur moderaten Emission) begrenzt bleibt.

### MIDI AGN Schnappschuss-Durchmusterung

Zusätzlich zu den oben beschriebenen detaillierten Studien haben wir während der garantierten Beobachtungszeiten des MIDI-Konsortiums eine AGN-Schnappschuss-Durchmusterung durchgeführt. Dabei wurde versucht, alle AGNs zu identifizieren, die im *N*-Band hell genug sind, um mit MIDI beobachtet werden zu können. Die vorläufige Target-Liste wurde aus AGNs mit bekannter *N*-Band-Flussdichte  $> 1$  Jy ausgewählt. Da der Großteil der verfügbaren *N*-Band-Photometrie hochaperturig erfasst wurde, war es erforderlich, alle Targets mit TIMMI 2 am 3,6-m-Teleskop der Eso (Auflösung  $0''.7$ ) zu beobachten, um die Kernflussdichte bei  $\lambda = 12 \mu\text{m}$  zu erreichen. Die endgültige Target-Liste (Tabelle III.3.1) enthält alle südlichen AGNs mit SN (Kern)  $> 300$  mJy. 13 der Targets wurden während der Schnappschuss-Durchmusterung beobachtet, zwei weitere wurden von anderen Beobachtern untersucht. Bei 11 dieser 16 Targets konnte MIDI interferometrische Fringes entdecken ( $\times$ ,  $\circ$  in Tabelle III.3.1). Drei der Quellen, für die MIDI-Beobachtungen versucht wurden, konnten nicht beobachtet werden, da ihr Kern für das adaptive OptiksysteM MACAO zu leuchtschwach war. Nur eine Quelle, der Starburst-Kern in NGC 253, scheint zu ausgedehnt zu sein, um ein interferometrisches Signal zu ergeben.

Aus der Schnappschuss-Durchmusterung konnten Größenschätzungen oder (größtenteils) Grenzen für die

**Tabelle III.3.1:** Target-Liste und Ergebnisse der AGN-Schnappschuss-Durchmusterung, die während der garantierten Beobachtungszeiten von MIDI durchgeführt wurde. Mit Sternchen gekennzeichnete Quellen wurden vorzeitig von der Liste gestrichen. Die Symbole in der Spalte »MIDI«

bedeuten erfolgreiche MIDI-Beobachtungen ( $\times$ : vollständige interferometrische Messung,  $\circ$ : Fringes entdeckt, aber instabile Wetterbedingungen haben vollständige Beobachtung verhindert).

Name	Typ	$z$	Skala [mas/pc]	SN(Kern) [mJy]	MIDI	Anmerkungen
NGC 253 Kern	LE	0.00080	57.3	1100	–	keine Fringes entdeckt
*NGC 1068	S2	0.00379	14.0	15000	$\times$	gut beobachtet (16 Visibility-Punkte), siehe Text
NGC 1365	S1.8	0.00546	11.0	610	$\times$	marginal aufgelöst in Snapshot-Survey
IRAS 05189-2524	S2	0.0425	1.0	550		AO Korrektur mit MACAO misslungen
MCG-5-23-16	S1.9	0.00827	5.7	650	$\times$	in Snapshot-Survey erfasst
Mrk 1239	S1	0.0199	2.5	640	$\times$	in Snapshot-Survey erfasst
NGC 3281	S2	0.01067	4.4	620		AO Kern verfehlt, naher Stern nicht verwendet
*NGC 3783	S1	0.00973	5.0	590	$\times$	beobachtet von Beckert et al., 2008
NGC 4151	S1	0.00182	14.0	1400	$\times$	aufgelöst in Snapshot-Survey
3C 273	QSR	0.1583	0.3	350v	$\times$	eine interferometrische Messung
Centaurus A	RG	0.00332	53.0	1220	$\times$	Erste Ergebnisse mit kurzen Basislinien, siehe Text
IC 4329A	S1	0.01605	3.1	420	$\circ$	Fringes entdeckt
*Mrk 463	S1	0.0504	1.0	340		noch nicht versucht
Circinus	S2	0.00145	50.0	9700	$\times$	gut beobachtet (21 Visibility-Punkte), siehe Text
NGC 5506	S2	0.00618	8.0	910		AO Korrektur mit MACAO misslungen
NGC 7469	S1	0.01631	3.1	410	$\circ$	Fringes entdeckt
NGC 7582	S2	0.00539	9.0	320		keine Fringes entdeckt

räumliche Ausdehnung des AGN-erhitzten Staubs für sieben AGNs abgeleitet werden. Diese Beobachtungen deuten an, dass die Staubverteilungen größenordnungsmäßig wenige Parsec betragen, und also kompakt sind, wobei keine deutlichen Unterschiede zwischen Seyfert-1- und Seyfert-2- Galaxien festzustellen sind. Die meisten Targets wurden lediglich mit der kürzesten Basislinie UT2-UT3 beobachtet und bleiben innerhalb der Fehler unaufgelöst (die durch die Unsicherheit der gemessenen Gesamtflussdichte  $F_{\text{tot}}$  dominiert werden). Weitere Beobachtungen mit längeren Basislinien sind erforderlich, um Größe und Flussdichte ihrer Staubtori (falls vorhanden) zu ermitteln. Trotz ihrer nördlichen Deklination ( $+40^\circ$ ) gelang es uns kürzlich, NGC 4151, die nächstliegende Seyfert-1-Galaxie, mit dem VLTI zu beobachten. Sie ist bei  $\lambda \sim 10 \mu\text{m}$  mit einer Basislinie von 60 Metern deutlich aufgelöst. Aber aus der Perspektive des VLTI wird die  $uv$ -Erfassung dieser Seyfert-1-Galaxie immer sehr begrenzt bleiben. Die nächstliegende südliche Seyfert-1-Galaxie, die für MIDI-Beobachtungen hell genug ist, nämlich NGC 3783, ist dreimal so weit entfernt wie NGC 4151. Um einen direkten Vergleich zu erhalten, müssen entferntere (und leuchtstärkere) Seyfert-2-Galaxien ebenfalls untersucht werden.

### Zusammenfassung

Auf den ersten Blick ähneln sich unsere Ergebnisse für die Staubstrukturen in den Seyfert-2-Galaxien NGC 1068 und Circinus ziemlich stark: Sie enthalten beide eine elongierte innere Komponente, die in eine größere, ungefähr 300 K warme Staubverteilung eingebettet ist. Der beobachtete Unterschied in der Torusgröße ist wohl der Tatsache zuzuschreiben, dass NGC 1068 rund zehnmal so leuchtstark wie Circinus ist. Bei beiden Quellen ist die innere Komponente an der Position der Wassermaser ausgerichtet.

Andererseits könnte man argumentieren, dass die Unterschiede zwischen beiden Objekten sogar signifikant sind: Nur in NGC 1068 finden wir Staub, der fast auf Sublimationstemperatur erhitzt ist, während in Circinus kein starkes Temperaturgefälle zwischen dem innersten Staub und den äußersten Teilen des Torus besteht. Zudem erscheint die Verlängerung des heißen Staubes in NGC 1068 gegen die durch den Radiojet und den Ionisationskegel definierte Quellenachse erheblich

geneigt zu sein, während die Staubscheibe in Circinus perfekt in ein achsensymmetrisches Torusmodell zu passen scheint. Der äußere Torus von Circinus erscheint ungleichmäßig oder filamentartig, wie durch hydrodynamische Modelle vorhergesagt. Die geringe Tiefe der Silikatabsorption in Richtung auf die Innenkomponente ist Hinweis darauf, dass unsere Sichtlinie in Richtung auf die Staubscheibe durch die Außenstruktur nicht wesentlich behindert wird und dass ein Großteil der mächtigen Wasserstoffsäule in Richtung auf den Röntgenkern innerhalb von  $r = 0,2 \text{ pc}$  liegen muss. Im Gegensatz dazu zeigt NGC 1068 eine mächtige Staubsäule in Richtung auf die heiße Komponente. Hier befindet sich ein Großteil des absorbierenden Gases und des absorbierenden Staubs außerhalb eines Radius von  $\sim 1 \text{ pc}$ .

Aufgrund dieser Unterschiede scheint es offensichtlich, dass der Torus in der Circinus Galaxie nicht bloß eine kleinskaligere Version des Torus in NGC 1068 ist. Deshalb stellt sich die Frage: Gibt es in den Seyfert-Galaxien tatsächlich so etwas wie einen Standard-Torus? Auf jeden Fall besitzt der »Torus« eine komplexe Struktur, die nicht nur aufgrund von Sichtlinieneffekten unterschiedlich erscheint, sondern zwischen einzelnen AGNs immanent unterschiedlich sein kann. Dies steht nicht notwendigerweise im Widerspruch zu der wesentlichen Annahme eines einheitlichen Schemas: Es ist nach wie vor möglich, dass Seyfert-1- und Seyfert-2-Galaxien immanent dieselbe Klasse von Objekten bilden. Um diese allgemeine Annahme zu überprüfen, müsste man nachweisen, dass ähnliche Tori wie in NGC 1068 und Circinus auch in Seyfert-1-Galaxien existieren. Die Entdeckung einer ausgedehnten Komponente in NGC 4151 mit MIDI ist ein vielversprechender Schritt in diese Richtung. Und schließlich zeigen unsere Ergebnisse bei Centaurus A, dass das Fehlen breiter Emissionslinien sich nicht immer durch einen verdunkelten Torus erklären lässt. Immanente Eigenschaften der Akkretionsströmung auf das Schwarze Loch könnten genauso wichtig sein.

*Leonard Burtscher, Klaus Meisenheimer.*

*In Zusammenarbeit mit:*

*Konrad Tristram (MPIfR, Bonn),*

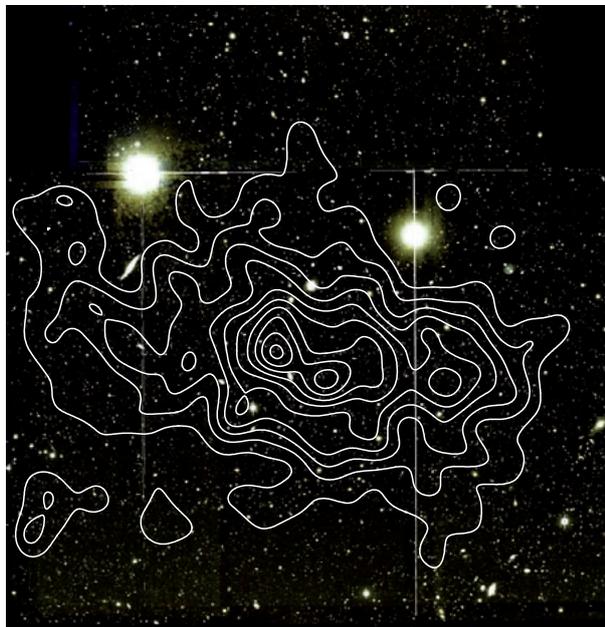
*David Raban, Walter Jaffe, Huub Röttgering  
(Sternwarte Leiden),*

*Marc Schartmann (MPE, Garching)*

### III.4 Die leuchtschwächsten Galaxien

**Wie leuchtschwach kann eine Galaxie sein? Alle Galaxien, ob groß oder klein, sind Konzentrationen von Sternen und Gas im Zentrum eines massereichen Halos aus Dunkler Materie. Aber waren in allen Dunkle-Materie-Halos die Bedingungen für die Sternentstehung erfüllt? In den letzten Jahren wurden zahlreiche neue Zwerggalaxien rund um das Milchstraßensystem entdeckt, einige von ihnen mit hundert mal weniger Sternen als in bisher bekannten Zwerggalaxien. Die Tatsache, dass eine komplette Galaxie aus nur einigen hundert Sternen bestehen kann – viel weniger als die meisten Kugelhaufen – hat unsere Vorstellungen darüber, was eine Galaxie sein könnte und wie sie entstehen könnte, in den Zweifel gezogen. So bleibt noch vieles von diesen dunkelsten Systemen des Universums zu verstehen, wenn man sie als Objekte für kosmologische Untersuchungen verwenden möchte. Die leuchtschwächsten Galaxien des Universums sind als Forschungsobjekte wiederentdeckt worden.**

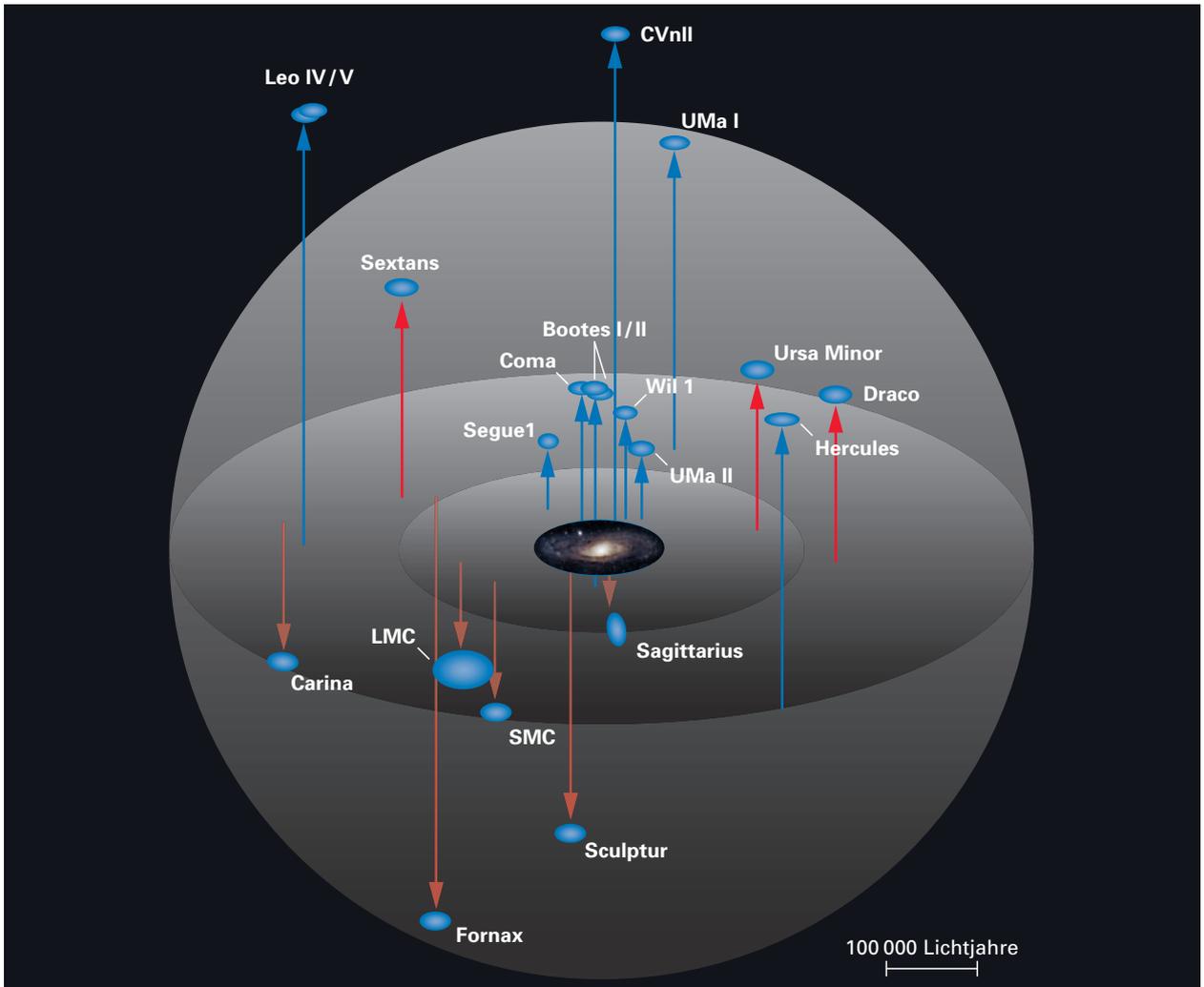
Zwerggalaxien spielen eine wesentliche Rolle für die Entstehung großer Galaxien. Immer ist es ihre Einverleibung durch ihre wesentlich massereicheren Kollegen gewesen, die zur Schaffung der Galaxien beigetragen hat, die wir heute beobachten können – wie etwa unsere Milchstraße. Der stellare Inhalt, die dynamischen und kinematischen Eigenschaften, die räumliche Verteilung um und die Einfallgeschwindigkeit von Zwerggalaxien in ihr zentrales Objekt können allesamt mit den kosmologischen Eigenschaften der Lokalen Gruppe verknüpft werden. Die kleine Zahl bekannter Zwerggalaxien bleibt jedoch ein beständiges Rätsel: Nicht nur beschränkt die Auswahl von 10 bis 20 Objekten (die einzigen, die bis 2004 entdeckt waren) die Menge zuverlässiger Informationen, die man über die Kosmologie gewinnen kann – auch Vergleiche mit Dunkle-Materie-Simulationen ergeben, dass man im Vergleich zur Anzahl beobachteter Satelliten in der Lokalen Gruppe (das sind Dunkle-Materie-Subhalos, die Sterne enthalten) wesentlich mehr kleine Dunkle-Materie-Subhalos erwarten sollte, die das Milchstraßensystem oder andere Galaxien umkreisen. Um Simulations- und Beobachtungsergebnisse in Einklang zu bringen, wurde angenommen, dass Dunkle-Materie-Subhalos, die in den frühen Epochen des Universums nicht massereich genug sind, einfach nicht genug Gas – ihren notwendigen Brennstoff – einbehalten können, um im Laufe der Zeit viele Sterne zu bilden. Dies führt zu dunklen oder zumindest extrem leuchtschwachen Systemen, deren Entdeckung äußerst schwierig ist. In der Tat zeigen umfassende Untersuchungen der beiden massereichen Spiralgalaxien der Lokalen Gruppe



**Fig. III.4.1:** Die Zwerggalaxie Canes Venatici I, beobachtet mit dem Large Binocular Telescope. Die Galaxie selbst ist auf dem Bild nicht sichtbar, aber die Verteilung lichtschwacher Sterne in dem Gebiet, dargestellt durch die weißen Konturen, zeigt eine deutliche Überdichte.

(das Milchstraßensystem und die Andromeda-Galaxie), dass diese von viel mehr Zwerggalaxien umgeben sind, als man früher angenommen hat: Im Laufe von nur wenigen Jahren hat sich deren Zahl mindestens verdoppelt.

Die neuen Systeme, denen die Helligkeit fehlt, um auf den Fotoplatten abgebildet werden zu können, wie sie früher zur Abbildung der Lokalen Gruppe verwendet wurden, sind extrem lichtschwach und erweitern das Reich der Galaxien auf Objekte, die 100 Mal leuchtschwächer sind als die früher bekannten. Abb. III.4.1 verdeutlicht die Schwierigkeit, diese Galaxien zu entdecken: Die Himmelsaufnahme, eine der ersten, die mit dem Large Binocular Telescope (LBT) gewonnen wurde, zeigt keine offensichtliche Lichtkonzentration, hinter der man eine Galaxie vermuten könnte. Wenn man allerdings jeden der äußerst leuchtschwachen Sterne in diesem Gebiet einzeln betrachtet, so erkennt man, dass ihre Dichte, repräsentiert durch die weißen Konturlinien, deutlicher überhöht ist. Die Herausforderung, diese leuchtschwachen Systeme zu finden, besteht in der Notwendigkeit relativ tiefe Durchmusterungen durchzuführen, die einen erheblichen Bruchteil des Himmels erfassen und im Rahmen derer die Verteilung leucht-



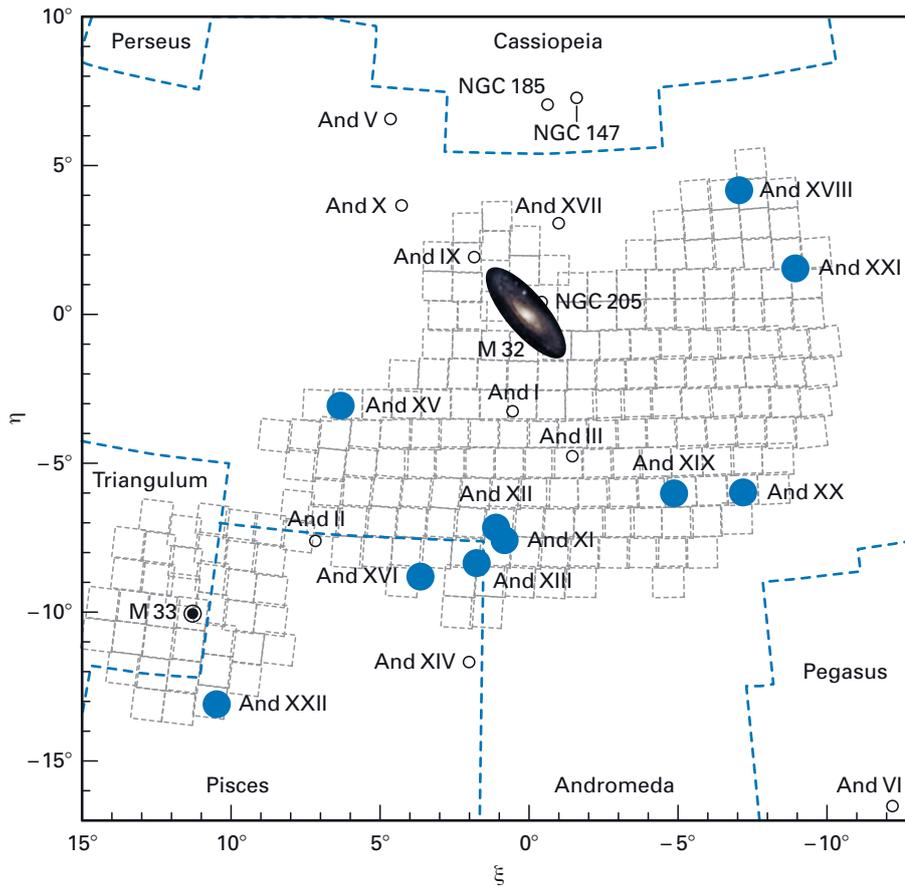
**Abb. III.4.2:** Die Verteilung von Satelliten-Zwerggalaxien um das Milchstraßensystem. Die vor dem 21. Jahrhundert bekannten Systeme sind mit roten Pfeilen gekennzeichnet, die zahlreichen neu entdeckten Systeme, die seit 2004 durch den Sloan Digital Sky Survey gefunden wurden, mit blauen Pfeilen. Die Durchmusterung, die nur ein Viertel des Himmels erfasst hat, erklärt die anisotrope Verteilung dieser Satelliten und unterstreicht, wie unvollständig unser Wissen über die Milchstraßensatelliten in anderen Himmelsregionen noch ist.

schwacher Sterne großskalig untersucht werden kann. Zwei Untersuchungen unter intensiver Beteiligung des MPIA bzw. von Wissenschaftlern des MPIA waren wichtig für die Entwicklung einer neuen Sichtweise auf das Satellitensystem der Lokalen Gruppe: Der Sloan Digital Sky Survey (SDSS), dessen Durchmusterung eines Viertels des Halos der Milchstraße mindestens zehn neue Galaxien ergeben hat, und der Panoramic Andromeda Archaeological Survey (PANDAS), bei dem kürzlich mehr als die Hälfte des Halos der Andromeda-Galaxie beobachtet wurde und durch den sich die Zahl der bekannten Zwerggalaxien, die diese riesige Spiralgalaxie umkrei-

sen, verdreifacht hat. Abb. III.4.2 und Abb. III.4.3 zeigen die neu entdeckten Galaxien um das Milchstraßensystem und Andromeda und unterstreichen angesichts des riesigen Teils des Himmels, der zu durchmusteren bleibt, wie unvollständig unser Wissen über das Satellitensystem der Lokalen Gruppe noch ist.

### Die am stärksten Dunkle-Materie-dominierten Systeme des Universums

Das Maß, in dem die Entdeckung dieser Satelliten zur Auflösung der Diskrepanz zur Anzahl der Dunkle-Materie-Subhalos in Simulationen beiträgt, wird nach wie vor diskutiert, da Hunderte (und nicht Dutzende) von Zwerggalaxien hätten entdeckt werden müssen wenn jeder Subhalo Sterne enthielte. Die Art der neuen Entdeckungen und die Frage, ob sie wirklich von Dunkler Materie dominiert sind, ist offensichtlich ein entscheidender Aspekt für diesen Vergleich. Eine derartige Bestätigung kommt aus spektroskopischen Untersuchungen ihrer hellsten Sterne, deren Bewegung

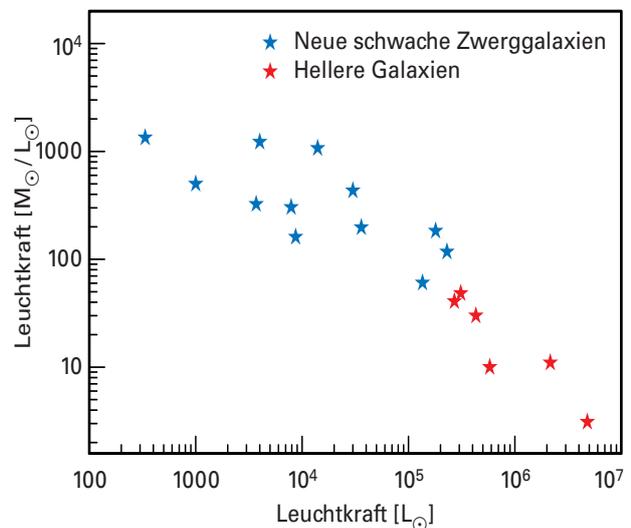


**Abb. III.4.3:** Die Verteilung der Satelliten um die Andromeda-Galaxie. Der Umfang der PANDAS-Durchmusterung wird durch die gepunkteten Quadrate veranschaulicht und führte zur Entdeckung von zehn neuen Satelliten, die blau gekennzeichnet sind. Die eingetragenen Grenzen der Sternbilder unterstreichen die Größe des durchmusterterten Areals.

mit dem Potenzial, in dem sie sich befinden, verknüpft werden kann. Bei Fehlen eines Dunkle-Materie-Halos können sich Sterne relativ zu anderen Sternen nicht schnell bewegen, ohne dass der Satellit (in diesem Fall ein einfacher Sternhaufen) sich auflöst. Andererseits umspannen die in diesen neuen Systemen beobachteten Sterne einen Bereich radialer Geschwindigkeiten, der die Existenz eines riesigen Anteils unsichtbarer Materie erkennen lässt, genau wie für hellere, früher bekannte Zwerggalaxien. Folglich handelt es sich bei ihnen wahrscheinlich ebenfalls um Zwerggalaxien, wenn auch mit sehr geringer Gesamthelligkeit. Ihre

**Abb. III.4.4.** Das Verhältnis zwischen Masse und Helligkeit, gemessen in Zwergsatelliten der Milchstraße. Alle Zwerggalaxien haben eine ähnliche Masse, woraus sich für die dunkelsten Galaxien (blaue Punkte) sehr hohe Werte für das Massen-Helligkeits-Verhältnis ergeben. Diese sind viel stärker durch Dunkle Materie dominiert, als vorher bekannte (hellere) Galaxien, die rot gekennzeichnet sind.

Leuchtschwäche hat aber noch eine weitere wichtige Konsequenz. Vorausgesetzt, dass die Masse ihrer Dunklen Materie unter konservativsten Annahmen nicht viel geringer ist als die von helleren Zwerggalaxien, so macht sie ihr winziger stellarer Inhalt zu den am stärksten von Dunkler Materie dominierten Systemen, die im Universum bekannt sind, wie in Abb. III.4.4 zu sehen ist. Es hat deshalb den Anschein, dass Zwerggalaxien (sowohl die hellen als auch die neu entdeckten leuchtschwachen



chen) allesamt Dunkle-Materie-Halos enthalten, die sich viel eher in der Masse ihrer Dunklen Materie als im stellaren Gehalt gleichen.

Irgendein Mechanismus hat die effiziente Entstehung von Sternen in den neu entdeckten Systemen verhindert. Dies bedeutet auch, dass in diesen Zwerggalaxien Sterne und Gas den Dunkle-Materie-Halo selbst wohl kaum stark beeinflusst haben, und dies macht sie zu einem idealen Forschungsobjekt, mit dem wir unsere Kenntnisse über die Eigenschaften der schwer fassbaren Dunkle-Materie-Partikel vertiefen können.

Aber sind diese Zwerggalaxien einfach die leuchtschwachen Geschwister ihrer helleren Kollegen, oder repräsentieren sie eine neue Familie von Galaxien mit etwas anderen Eigenschaften, die sich uns bisher entzogen haben? Mehr und mehr Bemühungen richten sich jetzt darauf zu verstehen, ob diese Systeme das leuchtschwache Ende der Leuchtkraftverteilung von Zwerggalaxien sind, ob sie Relikte hellerer Vorläufer sind, oder ob es sich bei ihnen um Objekte ganz anderer Art handelt. Solche Untersuchungen basieren jedoch auf den beobachteten Eigenschaften dieser Systeme, die aufgrund der sehr geringen Anzahl von Sternen, mit denen man arbeiten muss, schwierig zu gewinnen sind. Ein simpler Vergleich: Bootes I (eine der Neuentdeckungen) und Draco (früher als leuchtschwächste Galaxie bekannt) sind Systeme, die gleichermaßen »metallarme« und alte Sterne in ähnlichen Entfernung von uns enthalten, aber ihre unterschiedliche Helligkeit bedeutet, dass die Zahl der in Bootes I beobachtbaren Sterne nur ungefähr ein Zehntel der Zahl in Draco ausmacht. Die Charakterisierung dieser Systeme erfordert deshalb sorgfältige statistische Analysen, um den Effekt zu untersuchen, den solch geringe Datenmengen auf die hochgerechneten Gesamteigenschaften haben. Oder sie erfordert eine sehr weitreichende Untersuchung dieser Systeme, um ihre zahlreicheren leuchtschwachen Sterne aufzulösen. Beide Ansätze werden derzeit am MPIA verfolgt.

### Eine umfassende Studie der dunkelsten Galaxien

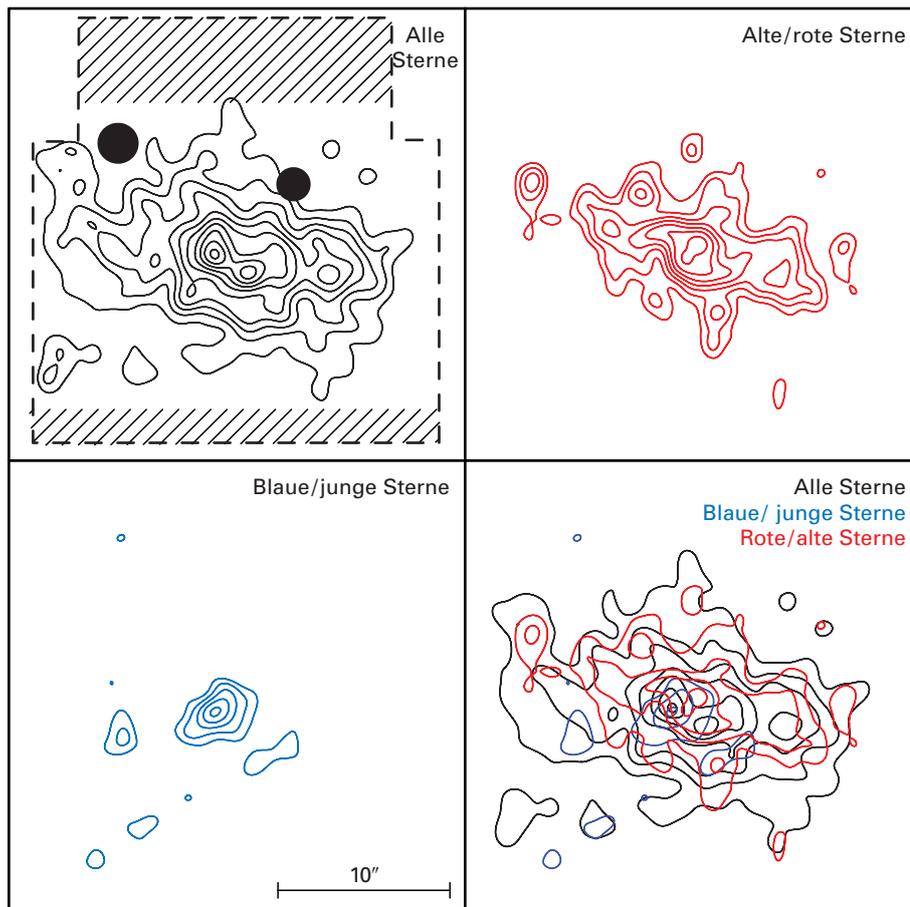
Der SDSS war ein unschätzbares Mittel zur Entdeckung leuchtschwacher Zwerggalaxien rund um das Milchstraßensystem. Aber es bleibt noch vieles zu tun, um diesen riesigen Sternkatalog zufriedenstellend auszuwerten, bis wir aus den Durchmusterungsdaten allein alles herausgeholt haben, was wir können. Um dieses Ziel zu erreichen, hat ein Team unter der Leitung der MPIA-Wissenschaftler Nicolas Martin, Jelte de Jong und Hans-Walter Rix erstmals eine umfassende und durchgängige Analyse aller neuen Entdeckungen aus den SDSS-Daten durchgeführt. Diese Analyse hat sich auf zwei Hauptaspekte konzentriert: Eine exakte Untersuchung der räumlichen Struktur der leuchtschwachen Galaxien und parallel dazu eine Modellierung ihrer Sternpopulationen sowie eine Untersuchung darüber,

wie sich die geringe Anzahl ihrer Sterne auf diese ermittelten Eigenschaften auswirkt.

Die neuen Zwerggalaxien sind wie ihre helleren Geschwister sphäroidale Systeme, in denen die Sterne innerhalb ihres Dunkle-Materie-Halos umherschweben. Jedoch wurde deutlich, dass sie abgeflachter als die früher bekannten Zwerggalaxien sind und sogar »zigarrenähnliche« Formen annehmen können. Derzeit ist unklar, welcher Mechanismus ihre Sterne in eine solche Morphologie getrieben hat. Handelt es sich vielleicht tatsächlich um Scheibengalaxien, aus einem schrägen Winkel betrachtet, statt um sphäroidale Systeme? Dies wäre zwar durchaus eine attraktive Lösung. Bisher wurde allerdings in diesen Systemen kein Anzeichen für Rotation entdeckt. Sehen wir vielleicht den Einfluss ihres massereichen Dunkle-Materie-Halos auf ihre sehr wenigen Sterne, die sich selbst gezwungenermaßen entsprechend der Halo-Form verteilen? Oder ist ihre längliche Form die Folge von Gezeitenkräften der Milchstraße, die sie auseinander reißen und langsam in Sternströme umformen? Es gibt derzeit keinen beobachteten Hinweis darauf, dass Sterne diesen Systemen entkommen. Angesichts der Lichtschwäche dieser Galaxien wären solche Gezeitenströme allerdings äußerst spärlich und sehr schwierig zu beobachten.

Die offensichtlich unregelmäßige Morphologie der neuen leuchtschwachen Galaxien – wie beispielsweise in Abb. III.4.5 zu sehen – wurde auch als Zeichen einer Gezeitendeformation interpretiert, die durch die nahe Milchstraße induziert wurde. Wenn man die geringe Zahl beobachtbarer Sterne in einer dieser Galaxien berücksichtigt (was natürlich deren akkurate Erfassung erschwert), wird offensichtlich, dass dies eine voreilige Schlussfolgerung ist, die durch Beobachtungseinschränkungen entsteht. Dies ist auch für eine weitere Eigenschaft von Galaxien problematisch, die üblicherweise als unveränderlich betrachtet wird: ihre globale Helligkeit. In helleren Zwerggalaxien gibt es genug Sterne, so dass die globalen Eigenschaften des beobachteten Systems unabhängig sind vom Entwicklungsstand einzelner Sterne. Die gemessene Helligkeit leuchtschwacher Satelliten-Galaxien hängt stark davon ab, ob sie einen oder zwei Sterne enthalten, die sich zum Riesenstadium hin entwickeln, in dem sie eine Leuchtkraft von rund 3000 Sonnen erreichen. Wenn dies geschieht, kann die Helligkeit der Galaxie selbst um dem Faktor 10 erhöht werden! Diese Fragen führen zu einer fundamentalen Einschränkung der Erkenntnisse über diese Sternensysteme. Und nur wenn wir die Population leuchtschwacher Galaxien in ihrer Gesamtheit untersuchen, haben wir die Hoffnung, diese sich durch die Analyse einzelner Systeme ergebenden Einschränkungen verringern zu können.

Jüngere Forschungsarbeiten am MPIA haben sich auch auf die Untersuchung der Eigenschaften der Sterne in leuchtschwachen Galaxien konzentriert. Einfache Modelle lassen vermuten, dass sich diese Systeme



**Abb. III.4.5:** Die in Abb. III.4.1 zu sehende Galaxie hat eine komplexe Struktur, die einen Doppelkern in ihrem Zentrum enthält (*Feld oben links*). Die Altersbestimmung einzelner Sterne zeigt, dass dieser Doppelkern auf die Existenz eines jungen Sternhaufens zurückzuführen ist, der gegen das Zentrum

versetzt ist (*Feld unten links*), während der Großteil der Sterne über die gesamte Zwerggalaxie verteilt ist (*Feld oben rechts*). Im Feld unten rechts werden die Populationen direkt miteinander verglichen.

seit der Entstehung ihrer ersten Sterne in den frühen Epochen des Universums nicht viel weiter entwickelt haben. Sie dürften deshalb nur alte Sterne enthalten, die »metallarm« sind, was bedeutet, dass diese Sterne nicht in der Lage waren, die Gase aus der Umgebung nochmals aufzubereiten und anzureichern, und die deshalb einen sehr geringen Gehalt an Elementen schwerer als Wasserstoff haben. Folglich war es eine Überraschung, dass einige der um die Milchstraße und Andromeda herum neu entdeckten Systeme Anzeichen für die Existenz mehrerer Sternpopulationen zeigen. In mehr als einer leuchtschwachen Galaxie zeigen sogar die nicht sehr tief gehenden SDSS-Daten Anzeichen für ausgedehnte Zeiträume der Sternentstehung sowie der Existenz metallreicher Sterne. Es handelt sich also offensichtlich nicht um einfache Systeme, wie man sich sie naiverweise vorstellen könnte, und sie sind sicherlich von unschätzbarem Wert für die Beschreibung der Randbedingungen von Modellen, wie Galaxien Sterne bilden.

Diese Entdeckung wurde durch die systematische Durchmusterung bestätigt, die das MPA derzeit zur Beobachtung aller neuen Zwerggalaxien mit dem Weltraumteleskop HUBBLE oder mit Teleskopen der 8-Meter-Klasse durchführt. Dadurch wurde es möglich, die stellaren Komponenten der Satellitengalaxien genau zu durchmusteren und nachzuvollziehen, wie sich die verschiedenen Sternpopulationen verteilen. Abb. III.4.5 zeigt, wie die Sterne der Galaxie, die bereits in Abb. III.4.1 zu sehen war, in eine alte und weit verteilte stellare Population – den typischen Befund, den man in einer solchen Galaxie erwarten dürfte – und eine rätselhafte Gruppe junger Sterne unterteilt werden können. Unerwarteterweise sind diese weniger als 2 Milliarden Jahre alt und erscheinen in der Galaxie als eine enge Gruppe. In dieser Galaxie muss in jüngerer Zeit etwas passiert sein, das die Existenz dieser Sterne erklärt: Entweder hat sie einen in der Nähe befindlichen Sternhaufen verschluckt (aber solch ein Haufen

wäre in den entfernten Regionen, in denen sich diese Galaxie befindet, äußerst merkwürdig), oder sie hat im Laufe ihrer Geschichte genügend Gas gespeichert, um die Bildung dieses Haufens in ihrem »Schoß« zu ermöglichen. Dies zeigt in aller Deutlichkeit, dass die lichtschwächsten Galaxien weit davon entfernt sind, einfache Sternensysteme zu sein. Gemeinsam mit anderen derartigen Hinweisen entsteht das Bild einer Komplexität, die an ihre helleren Gegenstücke erinnert.

Im Rahmen des Projektes PanSTARRS 1, das ein größeres Gebiet abdeckt und tiefer reicht als SDSS, bietet sich die nächste Möglichkeit, unsere Erhebung der leuchtschwächsten Galaxien im Universum fortzusetzen. Das Schlüsselprojekt »Milchstraßensystem und Lokale Gruppe« dieses Projekts wird vom MPA geleitet und verspricht neue Entdeckungen für die kommenden Jahre.

*Nicolas Martin, Jelte de Jong und Hans-Walter Rix*

## IV. Instrumente und Projekte

Zu den laufenden Instrumentierungsaktivitäten und -projekten am MPIA zählen hochgenaue Abbildungssysteme für das LBT und das ESO-VLT, intererometrische Instrumente für das VLT-Interferometer, Studien über künftige Instrumente für das E-ELT und Durchmusterungsinstrumente für das Calar-Alto-Observatorium und das Wise-Observatorium (Sternwarte der Universität Tel Aviv) sowie eine Mitwirkung an den Projekten PanSTARRS und HAT-South. In der weltraumgestützten Astronomie entwickelt und betreibt das MPIA Fokalinstrumente für die Missionen HERSCHEL und JWST und engagiert sich in Phase-A-Studien für die zum ESA-Wissenschaftsprogramm Cosmic Vision gehörenden Projekte EUCLID, PLATO und SPICA sowie in der GAIA-Mission.

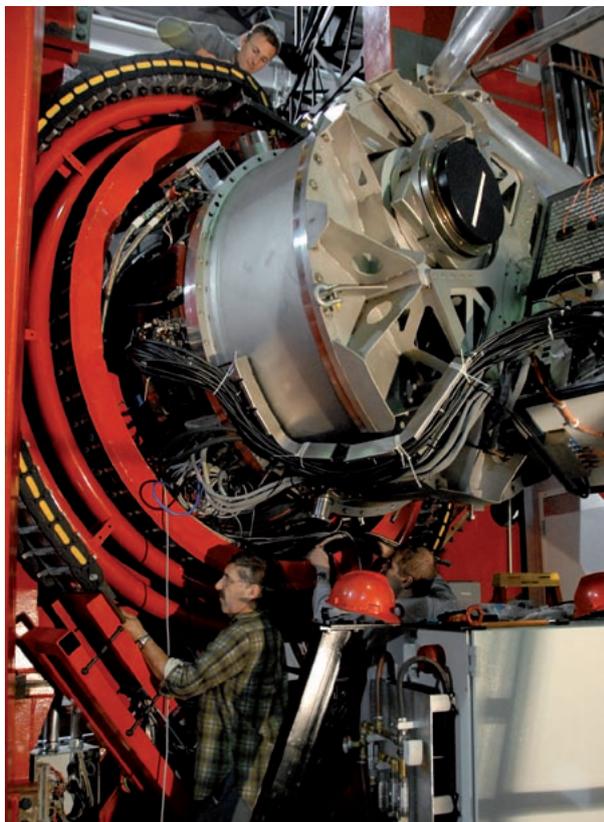
### IV.1 Instrumente und Projekte für das LBT

#### LUCIFER 1 und 2: Multi-Mode-Instrumente für das nahe Infrarot

Jedes dieser beiden identischen Systeme besteht aus einer hochauflösenden Infrarotkamera, einem Langspaltspektrographen und einem Multi-Objekt-Spektrographen. Sie werden die zentralen Infrarotgeräte am LBT sein.

Das besondere Ereignis für LUCIFER in 2008 war die Abnahme des ersten Instruments durch LBTO im Juli und die darauf folgende Inbetriebnahmezeit: Nach einem harten Kampf mit technischen Problemen im Sommer gelang es dem LUCIFER-Team mit enormem Einsatz, den Zeitplan für das Projekt einzuhalten. Selbst der äußerst komplexe Multi-Objekt-Spektroskopie-Modus MOS konnte rechtzeitig eingeführt und abgenommen werden.

Nach der Abnahmeprüfung wurde LUCIFER 1 in Heidelberg transportfertig verpackt und per Flugzeug nach Tucson gebracht. Im August erfolgte der Einbau von LUCIFER 1 in das Teleskop auf Mount Graham. Am 7. September konnte schließlich die erste Aufnahme erstellt werden. Der erste Inbetriebnahmelauf wurde durchgeführt. Seitdem wurden die Beobachtungsfunktionen von



**Abb. IV.1.1:** Während der Integration von LUCIFER 1 am LBT werden Kabel und das elastische Rohr für das Kühlsystem eingebaut.

LUCIFER in der NIR-Abbildung und in der Spektroskopie während mehrerer Inbetriebnahmeläufe erfolgreich getestet.

Der adaptive Optikmodus am LBT steht noch nicht zur Verfügung. Deshalb konnte die hochauflösende Kamera  $f/30$  auch bis jetzt nicht in Betrieb genommen werden. Derzeit wird der Einbau von LUCIFER 2 am MPIA vorbereitet. Integration und Inbetriebnahme sollen voraussichtlich in einem Jahr erfolgen.

*Werner Laun, Michael Lehmitz, Rainer Lenzen,  
in Zusammenarbeit mit der LSW Heidelberg*

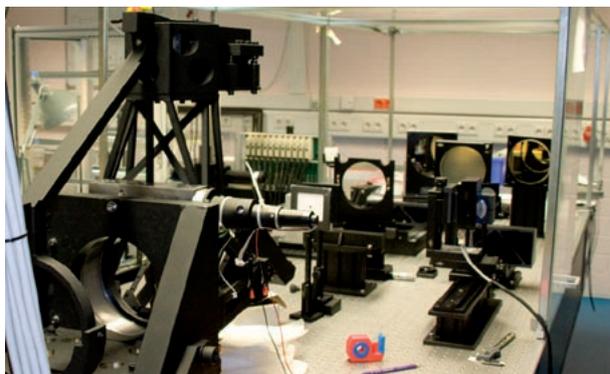
### LINC-NIRVANA: Die interferometrische Kamera

**LINC-NIRVANA (LN) ist eine interferometrische Kamera des Fizeau-Typs für das Large Binocular Telescope (LBT) in Arizona. Das Instrument arbeitet im Wellenlängenbereich  $1,0 - 2,4 \mu\text{m}$  und kombiniert das Licht aus den beiden  $8,4\text{-m}$ -Primärspiegeln des LBT in einer gemeinsamen Fokalebene, sodass eine Panoramadarstellung mit der Empfindlichkeit eines  $12\text{-m}$ -Teleskops sowie der räumlichen Auflösung eines  $23\text{-m}$ -Teleskops erreicht wird. LINC-NIRVANA ist ein riesiges ( $6 \times 5 \times 4,5 \text{ m}$ ) und komplexes Gerät. In vielerlei Hinsicht ist es ein Vorläufer für die Instrumentierung künftiger Extremely Large Telescopes.**

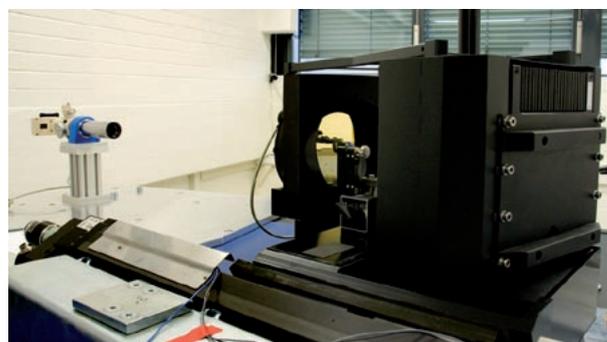
2008 machte das LN-Team weitere Fortschritte hinsichtlich der Montage, der Integration und der Tests des Instruments. Zu den wichtigsten Ereignissen in diesem Zeitraum gehören die Fertigstellung und der Test eines Arms der warmen Voroptik im LBT-Labor. In dieser Umgebung sind Leistungsverifizierung und Tests leichter möglich als auf der optischen Bank in der Integrationshalle.

Mehrere kryogene Komponenten wurden 2008 fertig gestellt. Dazu gehört der entscheidende Unterstützungsmechanismus für den Detektor, der die Kühlung und die Stromanschlüsse für den Infrarotsensor bereitstellt und für die Derotation des Detektors während der Nachführung sorgt. Das LN-Team hat zudem eng mit den Teams am MPIA und in Arizona zusammengearbeitet, welche die Vibrationseigenschaften des LBT charakterisieren. Bei Prüfungen und Biegunstests mit einzelnen Teilsystemen auf der LINC-NIRVANA-Bank stellte sich heraus, dass verschiedene Komponenten nicht spezifikationskonform waren und deshalb überarbeitet oder modifiziert werden mussten. Das war zwar enttäuschend, aber solch gründliche Kontrollen sind eine unabdingbare Voraussetzung für den Erfolg eines so komplexen Instrumentes wie LN. Würde man solche Fehler erst am Teleskop feststellen, so wären erheblich höhere Kosten und größere Zeitverzögerungen zu erwarten.

**Abb. IV.1.2:** Die warme Optik für LINC-NIRVANA im Test im LBT-Labor.



**Abb. IV.1.3:** Die Detektor-Rotationseinheit vor einem Kaltvakuumtest.



**Abb. IV.1.4:** Biegunstests für Komponenten von LINC-NIRVANA auf der optischen Bank.

Im Berichtsjahr setzten die wissenschaftlichen Teams der Design Reference Mission ihre Zusammenarbeit mit den für die Datenreduktionssoftware verantwortlichen Gruppen in Bonn und Genf fort. Inzwischen existiert eine solide Infrastruktur für die Simulation realistischer LN-Bilder, die genauso wie das tatsächliche Objekt reduziert und analysiert werden können. Diese Simulationen haben dazu beigetragen, die Formulierung der wissenschaftlichen Zielsetzung für LINC-NIRVANA weiter zu verfeinern sowie die Software zur Vorbereitung der Beobachtungen und das Beobachter-Interface zu optimieren.

LN ist ein gemeinsames Projekt der deutschen und italienischen LBT-Partner unter maßgeblicher Beteiligung des MPIA Heidelberg, INAF (Padua, Bologna, Arcetri, Rom), Köln und des MPI für Radioastronomie in Bonn.

*Baumeister, Bertram, Berwein, Bizenberger, Boehm, Borelli, Briegel, Brix, Debonis, Egner, Follert, Gaessler, Herbst (PI), Kittmann, Kuerster (PM), Labadie, Laun, Mall, Meschke, Mohr, Naranjo, Pavlov, Rix, Rohloff, Schinnerer, Schmidt, Schreiber, Storz, Trowitzsch, Wagner*  
*In Zusammenarbeit mit: INAF (Padua, Bologna, Arcetri, Rom, Genua), Universität Köln, MPIfr Bonn*

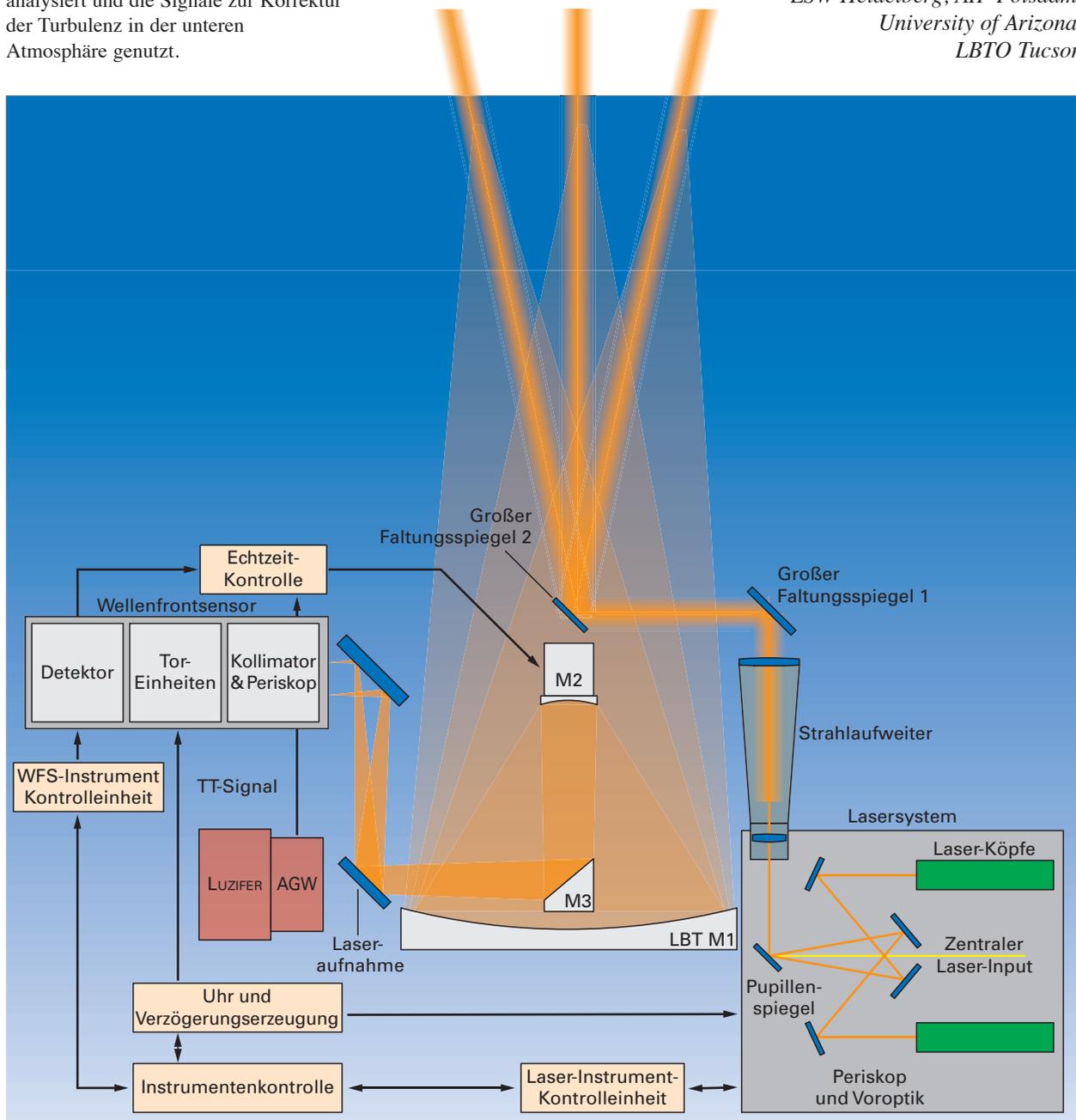
### ARGOS, das »Advanced Adaptive Optics«-System

Mit ARGOS, dem Advanced Rayleigh Ground Layer Adaptive Optics System für das LBT, wird das Ziel verfolgt, das Seeing in einem weiten Bildfeld um mindestens einen Faktor 1,5 in Halbwertsbreite und die Energiekonzentration um mindestens einen Faktor 2 zu verbessern, während gleichzeitig die Effizienz des Teleskops durch eine verbesserte Funktionsfähigkeit bei überdurchschnittlichem Seeing verbessert werden soll.

**Abb. IV.1.5:** Das ARGOS System für einen der beiden LBT-Hauptspiegel. Drei Laser werden über die Rückseite des adaptiven Sekundärspiegels zum Himmel gerichtet. Das in 12 km Höhe rückgestreute Licht wird mit einem Wellenfrontsensor analysiert und die Signale zur Korrektur der Turbulenz in der unteren Atmosphäre genutzt.

Im März konnte die Phase A nach erfolgreicher Prüfung abgeschlossen werden. Die Realisierbarkeit eines solchen Systems wurde bestätigt und es konnte gezeigt werden, dass LUCIFER, die Nahinfrarot-Kamera und der Multi-Objekt-Spektrograph am LBT, von einer baldigen Realisierung sehr profitieren werden. Phase B für das Projekt wurde direkt eingeleitet. Diese Phase schließt mit dem »Preliminary Design Review« im Februar 2009 ab. Das MPIA ist für die gesamte Software und für die Kontrolltechnik sowie für das Kalibrationsprogramm und die Kalibrationseinheit des Systems verantwortlich.

*Wolfgang Gässler, Diethard Peter, Thomas Blümchen,  
in Zusammenarbeit mit:  
MPE Garching, INAF-OAA Florenz,  
LSW Heidelberg, AIP Potsdam,  
University of Arizona,  
LBTO Tucson*



## Charakterisierung des LBT

### Das Vibrationsüberwachungssystem

Mit dem Einbau eines Vibrationsüberwachungssystems am LBT zur systematischen Beobachtung des Schwingungsverhaltens der Teleskopstrukturen wurde begonnen. Dieses System ist ein gemeinsames Projekt des LINC-NIRVANA-Teams und des Teams am Steward Observatory, Tucson, welches das amerikanische Interferometer LBTI entwickelt. Beide Gruppen definieren und erwerben bzw. entwickeln gemeinsam die für das Überwachungssystem benötigte Hard- und Software. Das LBT-Observatorium übernimmt, insbesondere während der Installation, eine unterstützende Funktion.



**Abb. IV.1.6:** Testmessungen mit Beschleunigungsaufnehmern, die vor kurzem an dem festen Sekundärspiegel des LBT angebracht wurden. Der Ausschnitt zeigt einen der Sensoren. Als Reflektion im Spiegel ist die Instrumentenplattform mit LUCIFER 1 ganz rechts am Derotator befestigt zu sehen.

Insgesamt 45 Beschleunigungsaufnehmer werden an den Primär-, Sekundär- und Terziärspiegeln sowie an den Befestigungspunkten beider Interferometer angebracht. In seiner ersten Phase dient das System zur Identifizierung der Hauptvibrationsquellen und ihrer möglichst weitgehenden Beseitigung bzw. Dämpfung. In einer späteren Phase sollen die Beschleunigungsaufnehmer-Signale in den interferometrischen Hauptsteuerkreis eingeführt werden, der die Unterschiede in den optischen Weglängen der beiden Einzelteleskope des LBT kompensiert.

*Martin Kürster, Mario Brix, Vianak Naranjo,  
José Luis Borelli, Tom Herbst, Wolfgang Gässler,  
Thomas Bertram, Frank Kittmann  
in Zusammenarbeit mit den Teams von LBTI und LBTO*

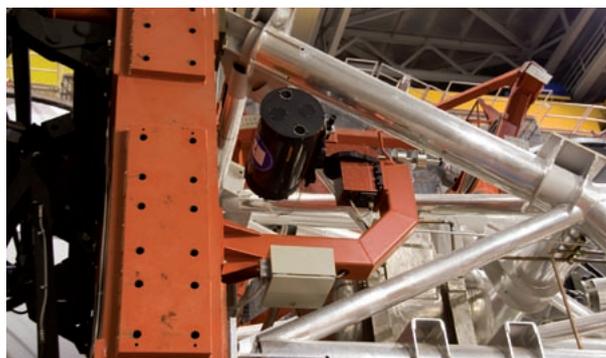
### Der Differenzial-Bildbewegungsmonitor

2008 lieferte das MPIA den Differential Image Motion Monitor (DIMM) für das Large Binocular Telescope aus. DIMM nimmt für die Beobachter eine Messung der aktuellen Sichtbedingungen vor. Diese Informationen sind für den Erfolg wissenschaftlicher Beobachtungen sowie für die Inbetriebnahmevorbereitungen und Tests am Teleskop und seinen Instrumenten von entscheidender Bedeutung. Wir hoffen, dass die Korrelation der Sichtmessungen mit anderen jahreszeitlichen und meteorologischen Indikatoren über längere Zeit dazu beitragen wird, bevorstehende Sichtbedingungen vorherzusagen und so eine effektivere Planung zu ermöglichen.

DIMM ermittelt die Sichtverhältnisse durch Aufzeichnung der Differenzialbewegung zweier Bilder eines einzelnen Sterns, dessen Licht die Erdatmosphäre auf zwei unterschiedlichen Wegen durchquert. Ein einzelnes kleines Teleskop, das mit einer Maske und Glaskeilen bestückt ist, erzeugt die beiden separaten Bilder des Sterns, während eine Hochgeschwindigkeitsdigitalkamera Aufnahmen mit 5 bis 10 Millisekunden Belichtungszeit macht, um die Sternpositionen »einzufrieren«. Da die Technik auf der Differenzialbewegung der Bilder beruht, ist DIMM unempfindlich gegenüber Vibrationen, Außenluftturbulenzen und Nachführfehlern.

Da am LBT-Standort bauliche Beschränkungen bestehen, wurde DIMM direkt am Teleskop angebracht. Obwohl dieser Ort nicht wirklich an der völlig freien Lufte liegt, ermöglicht er eine eindeutige Auswertung der bestmöglichen Bilder, die an die LBT-Instrumente geliefert werden. Somit stellt er eine ideale Ergänzung zur den vorbereitenden Inbetriebnahmeaktivitäten dar. Durch die Montage des DIMM am LBT ergaben sich jedoch erhebliche Probleme, da das Gerät auf ein Ziel ausgerichtet werden und dieses verfolgen muss, während das LBT, auf dem es montiert ist, gleichzeitig auf ein anderes Ziel ausgerichtet ist und dieses verfolgt.

**Abb. IV.1.7:** Der am MPIA entwickelte DIMM (das kleine Teleskop auf J-förmiger Halterung) am oberen Ende des Large Binocular Telescope. Auffällig sind die beiden Öffnungen zur Auswahl unterschiedlicher Lichtwege durch die Erdatmosphäre.



Im Laufe des Jahres 2008 hat das Team den DIMM in Betrieb genommen und mehrere Messkampagnen durchgeführt. Als Nächstes (ab Anfang 2009) ist geplant, den Automatisierungsgrad weiter zu erhöhen und das Instrument an das LBT-Observatorium zu übergeben.

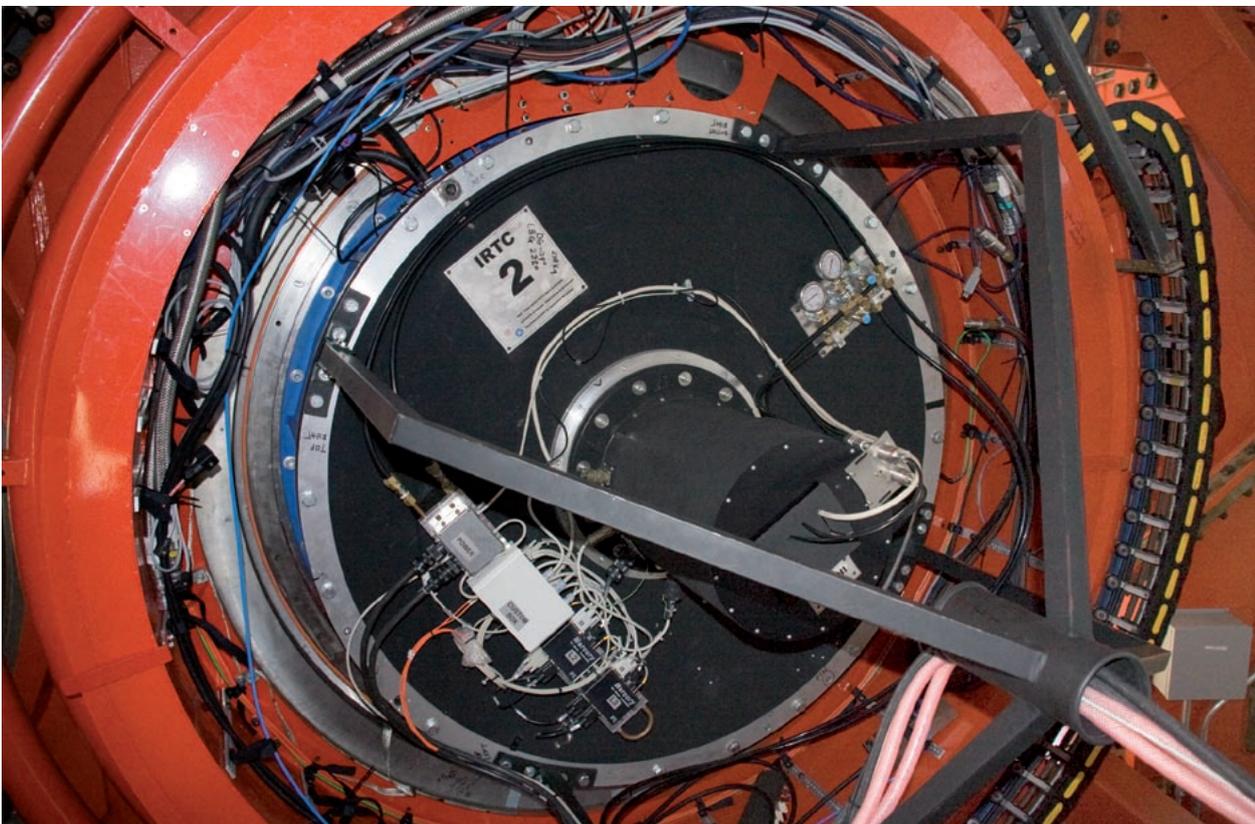
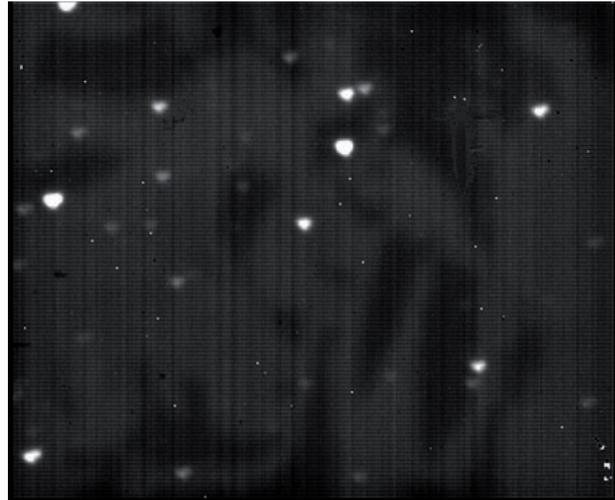
*Johannes Schmidt, José Borelli,  
Ralf-Rainer Rohloff, Armin Böhm*

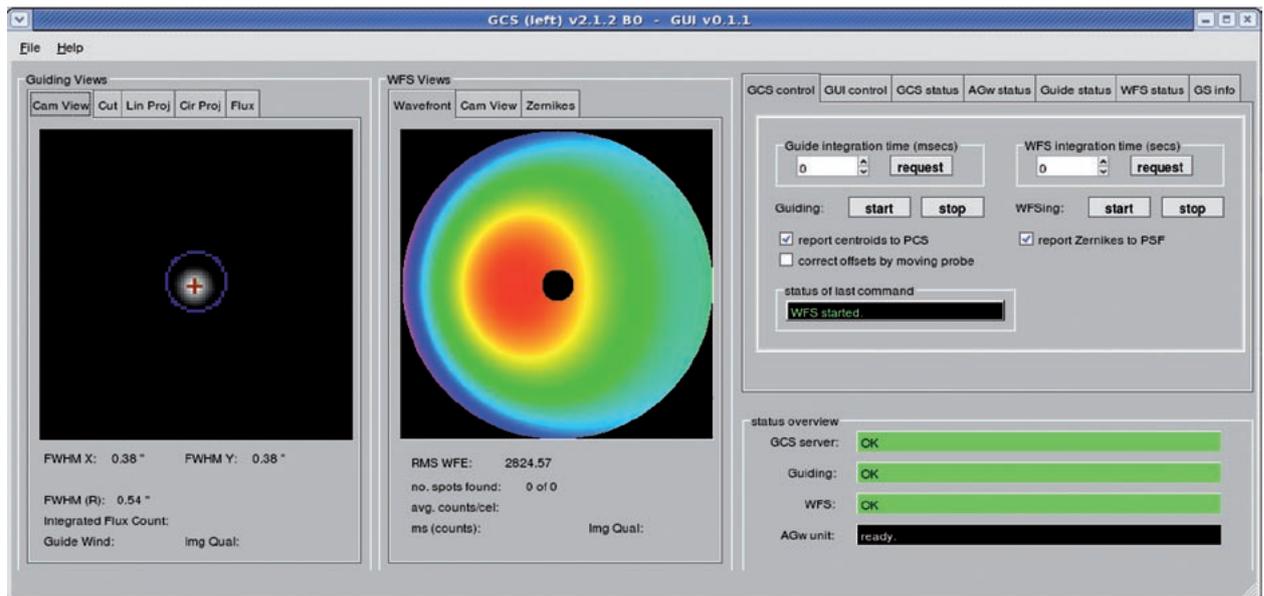
#### Die Infrarot-Testkameras

In der Instrumentenentwicklung gibt es eine grundsätzliche Regel: Führe Inbetriebnahmevorbereitungen und Tests für ein komplexes System nie mit einem anderen komplexen System durch! Beim Large Binocular Telescope-Projekt gibt es viele solcher komplexen Systeme. Dazu zählen neben dem Teleskop selbst die vollständig adaptiven Sekundärspiegel sowie die automatische Teleskopnachführung und die Wellenfront-Sensoren, die auf den verschiedenen Fokalstationen montiert sind.

**Abb. IV.1.8:** *Unten:* Die Infrarot-Testkamera 2 am Gregory-Fokus des LBT für Teleskoptests. Normalerweise befindet sich an dieser Stelle das LUCIFER-Instrument. *Rechts:* Das erste Gregory-Bild, aufgenommen mit der Testkamera am 15. April 2008. Die Halbwertsbreite (FWHM) für Punktquellen beträgt auf diesem Bild ca. 0,6 Bogensekunden.

Das MPIA hat in Zusammenarbeit mit seinen Partnern in Bologna ein Paar relativ einfacher Infrarot-Testkameras gebaut und an das LBT geliefert. Diese Kameras, die im nahen Infrarot (1,0 bis 1,8 Mikrometer Wellenlänge) arbeiten, ermöglichen schnelle Aufnahmesequenzen, mit denen sich Bildbewegung sowie vorübergehende optische Abbildungsfehler und weitere Indikatoren für die Teleskop- und Instrumentenleistung messen lassen. Ein Zehnfach-Zoom-Linsensystem ermöglicht Messungen an einzelnen Sternen mit hoher Winkelauflösung sowie die Beobachtung größerer Gesichtsfelder.





**Abb. IV.1.9:** Hauptbildschirm der graphischen Benutzeroberfläche von GCS. Die einzelnen Bereiche zeigen (von links nach rechts): das Bild des Leitsterns in der Nachführungskamer; eine Darstellung der Wellenfront, die aus den Wellenfrontsensormessungen rekonstruiert wurde; GCS-Bedienerkonsole (oben) und Statusübersicht (unten).

2008 haben die Infrarot-Testkameras eine zentrale Rolle bei der Inbetriebnahme und den Tests für die LBT-Systeme gespielt. Beispielsweise wurde die erste Kamera täglich am Testturm in Arcetri (Italien) eingesetzt, um die Leistungsfähigkeit der adaptiven Sekundärspiegel zu überprüfen. Die zweite Kamera hat ihre Dienste regelmäßig am gekrümmten und am direkten Gregory-Fokus bei der Inbetriebnahme der Fokalstationen und für Tests des feststehenden Sekundärspiegels geleistet (siehe Abb. IV.1.8). Während dieser schwierigen Testkampagnen haben die Kameras außerordentlich zuverlässig funktioniert.

*Daniel Meschke, Ralf-Rainer Rohloff,  
in Zusammenarbeit mit:  
Universität Bologna,  
Observatorio Astronomico di Bologna*

## Teleskopsteuerungssoftware

Das MPIA ist im Bereich der Steuerungssoftware mit zwei Arbeitspaketen an Bau und Entwicklung des LBT beteiligt:

- IIF, die Instrument-Interface-Software zur Steuerung der Kommunikation zwischen sämtlichen astronomischen Instrumenten und dem Teleskop;
- GCS, die Software für die Nachführung des Teleskops (Guide Control System) und die Steuerung der aktiven Optik für die Hauptspiegel.

Nach dem erfolgreichen Einsatz der Software im Routinebetrieb mit den beiden LBC-Primärfokus-Kameras wurde eine leicht modifizierte Version dieser Software für die Nahinfrarot-Testkameras entwickelt. Aufgrund ihrer größeren Flexibilität machte diese neue Variante auch die anderen Instrumentenbauer auf sich aufmerksam, sodass sie jetzt gemeinsam mit LUCIFER 1 verwendet wird und 2009 auch mit MODS 1 zum Einsatz kommen soll.

In der Analyse der Kamerabilder, die von der AGW-Einheit (Acquisition, Guiding and Wavefront sensing unit) erzeugt wurden, hatte das GCS-Paket zudem seinen ersten erfolgreichen Einsatz gemeinsam mit LUCIFER 1. Die Vorbereitungen zur Inbetriebnahme werden 2009 fortgesetzt.

*Martin Kürster, José Luis Borelli, Torsten Leibold,  
in Zusammenarbeit mit dem LBTO-Software-Team*

## IV.2 Instrumente für ESO

### PRIMA und SPHERE – Instrumente der zweiten Generation für das VLT

#### Die optischen Verzögerungsstrecken für PRIMA

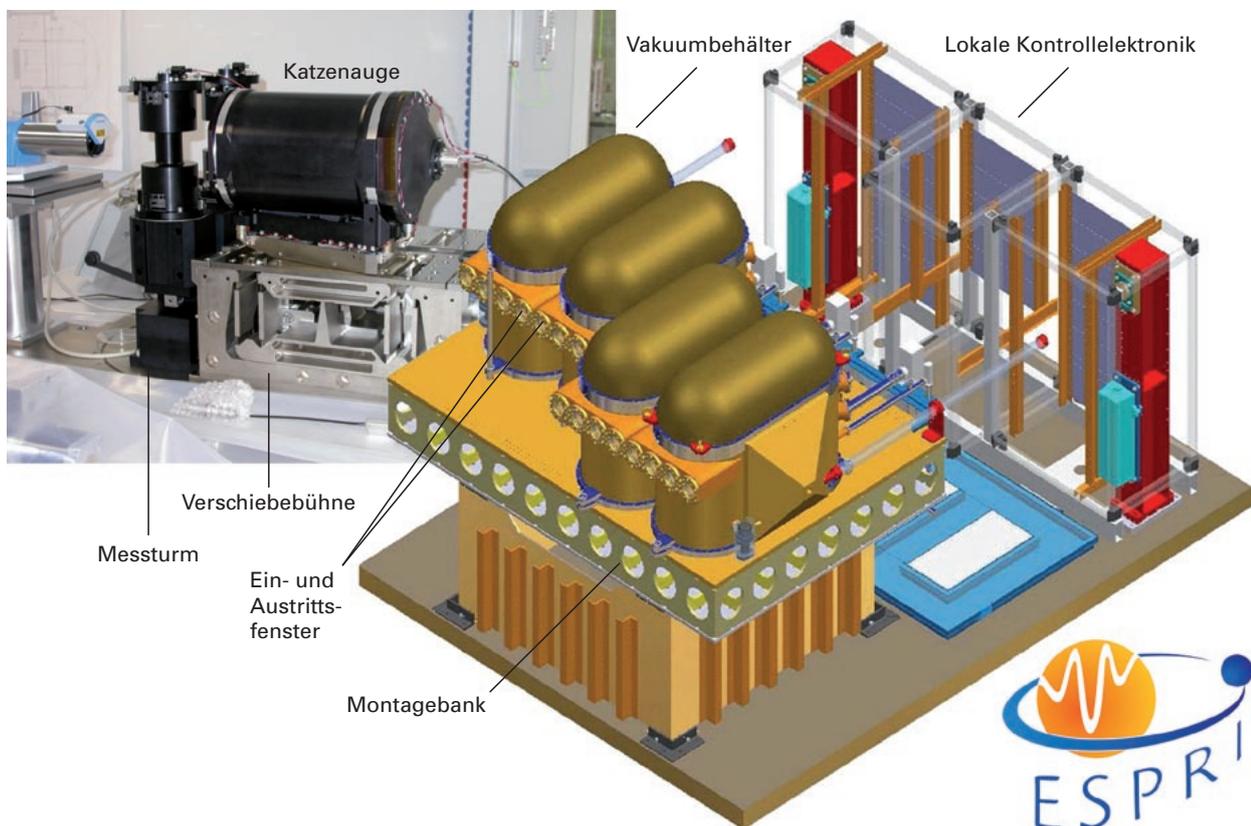
**PRIMA (Phase Referenced Imaging and Micro-arcsecond Astrometry), das Instrument für die phasenbezogene Bilderfassung und Mikrobogensekunden-Astronomie, dient dazu, mit dem Very Large Telescope Interferometer (VLTi) astrometrische Messungen kleiner Winkel im K-Band mit zwei Hilfsteleskopen (ATs) sowie eine phasenbezogene Apertursynthese mit Instrumenten wie AMBER und MIDI zu ermöglichen. Im astrometrischen Modus wird PRIMA in der Lage sein, den Winkelabstand zwischen zwei Sternen, die bis zu 30 Bogensekunden voneinander entfernt sind, mit einer Genauigkeit von 20 bis 30 Mikrobogensekunden zu messen.**

Um die vollständige Implementierung dieses astrometrischen Instruments zu unterstützen bzw. zu beschleunigen und ein umfangreiches astrometrisches Exoplaneten-Suchprogramm durchzuführen, hat das MPIA in Zusammenarbeit mit dem Observatoire de Genève und der Landessternwarte Heidelberg die optischen Verzögerungsstrecken

(Differential Delay Lines – DDL) für PRIMA gebaut und entwickelt jetzt die Software zur Vorbereitung der Beobachtungen und zur Datenreduktion. Als Gegenleistung erhält das Konsortium garantierte Beobachtungszeit an zwei Hilfsteleskopen für die Durchführung einer systematischen astrometrischen Exoplanetensuche mit PRIMA (ESPRI).

Das Konzept der DDLs wurde von dem Konsortium in enger Zusammenarbeit mit ESO entwickelt. Die DDLs bestehen aus Cassegrain-Teleskopen mit Vollaluminium-Retroreflektoren (Katzenaugen) mit einem Durchmesser von ca. 20 cm, die auf festen Linearverschiebeeinheiten montiert sind. Ein Stellantrieb an der Verschiebeeinheit ermöglicht Fahrwege von bis zu 60 Millimetern. Ein Piezoschalter am M3-Spiegel im Katzenauge liefert eine zusätzliche Feineinstellung innerhalb von rund  $10\ \mu\text{m}$  mit einer Präzision von einem Nanometer.

**Abb. IV.2.1:** Schematische Darstellung der optischen Verzögerungsstrecken (DDLs) nach der Montage im VLTI-Labor. *Oben links* ist ein Katzenaugenteleskop auf der Verschiebeeinheit mit dem internen Metrologieturm davor zu sehen, aufgebaut für die Abnahmetests in Genf. Jeder Vakuumbehälter enthält zwei solcher DDLs. *Unten rechts:* Das Logo des ESPRI-Projekts.





Beide Schalter werden von einem Steuerkreis angetrieben, sodass sich der optische Pfad stufenlos in einem Bereich von 120 mm (doppelte Fahrweglänge) und mit einer Genauigkeit von zwei Nanometern einstellen lässt. Zusammen mit einem internen Metrologiesystem sind die DDLs auf einer speziell angefertigten optischen Bank in nicht-kryogenen Vakuumbehältern montiert. (Abb. IV.2.1).

Die Katzenaugenteleskope wurden am MPIA entwickelt und von AXSYS in Detroit hergestellt. Sie wurden zwischen August 2007 und Januar 2008 an das MPIA ausgeliefert und dort in einem speziellen Optik-Labor umfassend getestet. Im März 2008 schließlich konnten die Katzenaugen nach Genf geliefert werden, wo sie in

**Abb. IV.2.2:** Vianak Naranjo und Harald Baumeister montieren die Katzenaugenoptik im VLTI-Strahlenkombinationslabor auf Paranal in die DDLs (August 2008).

die anderen DDL-Komponenten integriert wurden. Im Juli absolvierten die DDLs die vorläufigen Abnahmetests in Europa. Direkt anschließend wurden die DDLs demontiert, verpackt und nach Paranal transportiert, wo sie nach einer Woche sicher und wohlbehalten ankamen.

**Abb. IV.2.3:** Das komplette DDL-Montageteam vor dem Cerro Paranal und dem VLT im August 2008: P. Bizenberger, V. Naranjo und H. Baumeister (von rechts) vom MPIA.



Eine große Gruppe von Technikern der ESO sowie aus Genf und vom MPIA begann am 17. August 2008 mit der Integration und Ausrichtung der DDLs im VLTI-Labor am Paranal-Observatorium (Abb. IV.2.2 und Abb. IV.2.3). Diese Arbeiten verliefen reibungslos und ohne größere Probleme. Nach Abschluss von Montage und Integration gelang es dem Team sogar am 3. September, mit PRIMA die ersten Interferenzstreifen am Himmel unter Zuhilfenahme der Fringe Sensor Unit (FSU) A an einem Stern mit  $K = 0,44$  mag zu erfassen.

Weil sich die Behebung technischer Probleme mit den Sternseparatoren (Star Separator Units) bei ESO verzögerten, begann die »on-sky«-Inbetriebnahme von PRIMA im Oktober 2008 zunächst mit Fringe-Tracking-Tests am Einzelstern. Insgesamt sind in Periode 82 zwischen Oktober 2008 und März 2009 vier Inbetriebnahmelaufe an zehn Tagen vorgesehen, um die Fringe-Tracking-Leistung von PRIMA zu testen und weiter zu optimieren. Ziel ist ein Fringe-Tracking von Sternen bis zu  $K = 8$  bis 8,5 mag. Die astrometrische Inbetriebnahme von PRIMA im Doppelstern-Modus wird erst in Periode 83 (Mitte 2009) starten. Sie erfordert mindestens sechs Inbetriebnahmelaufe an jeweils 10 Tagen.

Sobald PRIMA in den astrometrischen Betrieb geht (voraussichtlich 2010, Periode 85), planen wir die Durchführung von ESPRI, einer systematischen Exoplanetensuche mit PRIMA, bei der die folgenden Schlüsselfragen im Mittelpunkt stehen sollen:

- (i) präzise Bestimmung der planetaren Massenverteilung
- (ii) Entdeckung neuer Planeten um nahe Sterne mit Massen zwischen Saturn- und Uranusmasse
- (iii) Entstehung und Entwicklung planetarer Mehrfachsysteme und
- (iv) Erforschung der Planetenentstehung in Abhängigkeit von Alter und Masse.

Vor dem Hintergrund dieser Ziele haben wir drei Listen mit potentiellen Beobachtungsobjekten definiert, die insgesamt nahezu 900 Sterne umfassen:

- Sterne mit Planeten, deren Radialgeschwindigkeit bekannt ist,
- Nahe Hauptreihensterne innerhalb einer Entfernung von 15 Parsec um die Sonne und
- Junge Sterne im Alter zwischen 5 und 300 Millionen Jahren innerhalb 100 Parsec um die Sonne.

Derzeit führen wir ein umfassendes vorbereitendes Beobachtungsprogramm durch, um geeignete astrometrische Bezugssterne zu identifizieren und die Zielsterne für die Planetensuche zu charakterisieren. Mit einer endgültigen Nachweisrate für Bezugssterne von 10 bis 15 Prozent wollen wir dann 100 bis 150 Sterne auf astrometrische Signaturen extrasolarer Planeten hin untersuchen.

*Baumeister, Bizenberger, Graser, Henning,  
Launhardt, Müller, Naranjo, Schulze-Hartung,  
Setiawan, Wagner, Weise,  
in Zusammenarbeit mit: Observatoire de Genève,  
Landessternwarte Heidelberg, ESO*

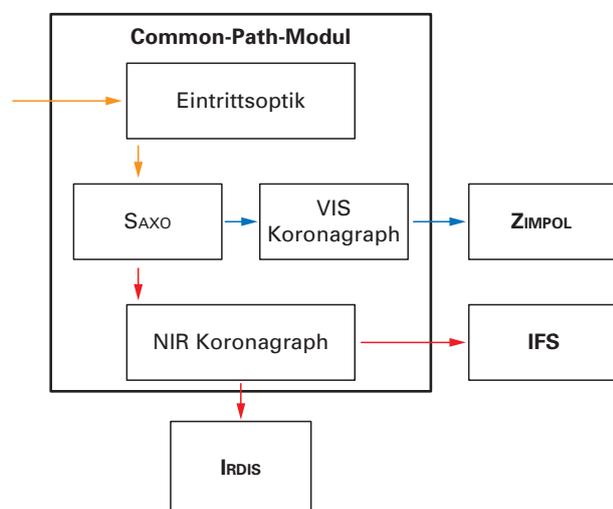
## SPHERE – Spectro-Polarimetric High-contrast Exoplanet REsearch

SPHERE ist ein Instrument zur Planetensuche für das VLT. Sieben Jahre nach der ersten Idee hat dieses Instrument 2008 sein »Final Design Review« absolviert und wird jetzt gebaut.

Die Idee zu diesem Projekt entstand 2001 beim ESO-Workshop für VLT- und VLTI-Instrumente der zweiten Generation. Bei diesem Workshop wurde das Konzept für ein Planet-Finder-Instrument für das VLT präsentiert. Später rief ESO zur Unterbreitung von Vorschlägen für die Realisierung eines solchen Instruments auf und bekam zwei Antworten: Eine von einem Konsortium unter der Führung des Laboratoire d' Astrophysique de Grenoble (LAOG), die andere von einem MPIA-geführten Konsortium. Nach der Durchführung von zwei Phase-A-Studien zur Überprüfung der Durchführbarkeit der Konzepte beschloss ESO, ein aus Elementen der beiden ursprünglichen Vorschläge bestehendes gemeinsames Konzept zu realisieren, das als SPHERE bezeichnet wird: Es übernimmt die adaptive Optikkomponente und die Nahinfrarot-Dual-Band-Bildkamera IRDIS vom ursprünglichen LAOG-Vorschlag sowie das Differenzialspektrometer ZIMPOL und das NIR-Integralfeldspektrometer IFS vom ursprünglichen MPIA-Konzept.

Alle Teilespezifikationen von SPHERE sind extrem eng gefasst. Das Ziel für den endgültigen Wellenfront-Fehler auf der koronagraphischen Fokalebene liegt unter 36 nm rms. Die endgültigen Strehl-Werte bei geschlossenem Regelkreis für die Fokalebene-Detektoren sollen 84 Prozent für IRDIS bei 1600 nm, 74 Prozent für IFS

**Abb. IV.2.4:** SPHERE besteht aus vier Hauptteilen: dem Common-Path-Modul, das das leistungsstarke AO-System SAXO (SPHERE Adaptive optics for eXoplanet Observation) und die fortschrittlichen koronagraphischen Geräte enthält, die Nahinfrarot-Dual-Band-Kamera IRDIS, das visuelle Differenzialpolarimeter ZIMPOL und das Nahinfrarot-3D-Spektrometer IFS.



bei 1300 nm und 46 Prozent auf ZIMPOL bei 800 nm beitragen. Eng gefasste Toleranzen gelten auch für andere Maße. So muss beispielsweise die Präzision, mit der die Flatfield-Empfindlichkeit der NIR-Sensoren (zwei Teledyne HAWAII 2RG Arrays) bekannt sein muss, mindestens 1 % betragen, wobei das Ziel bei 0,1 % liegt. Und es ist tatsächlich dieser Flatfield-Fehler, der zusammen mit verbleibenden statischen Abbildungsfehlern den Grenzwert für die Planetennachweisbarkeit darstellen wird. Genau hier liegt der echte Vorteil von SPHERE gegenüber konventionelleren VLT-Instrumenten: Keine Akzeptanz von Restfehlern und daraus resultierenden Nachweisbarkeitsgrenzen, sondern der Versuch, jeden einzelnen Restfehler zu charakterisieren und zu kalibrieren, um das theoretische Leistungslimit für den Planetennachweis am VLT zu erreichen. Deshalb wird SPHERE auch mit einem anspruchsvollen Datenreduktions- und Analysesystem ausgestattet, das aus 79 Datenreduktions-»Rezepten« (höchste Zahl bisher: 23 für VIMOS) zur Bewältigung der Rohdaten für Wissenschafts-, Kalibrations- und Beobachtungszwecke besteht.

Für die Bereitstellung des SPHERE-Instruments sowie Datenreduktions- und Analyseeinrichtungen erhält das Konsortium 260 Nächte garantierter Beobachtungszeit. Im Gegensatz zu früheren Konsortien, die Instrumente bauen, will das SPHERE-Team die garantierte Beobachtungszeit nicht in kleinere Einzelprogramme aufteilen, sondern als großes, zusammenhängendes Forschungsprogramm mit dem Ziel nutzen, ein detailliertes Bild von der Planetenentstehung und -entwicklung zu erhalten. Der Großteil der Durchmusterung (200 Nächte) wird auf die Erforschung der Population von äußeren Riesenplaneten in Abhängigkeit von Masse und Alter des Zentralsterns entfallen. Zu diesem Zweck werden die Zielsterne in 6 + 1 Kategorien unterteilt: drei Kategorien nach ihrer Masse (Spektraltypen früher als F, G-K, sowie M und später) und zwei Alterskategorien (jung, d. h. einige  $10^7$  Jahre, und älter als  $10^8$  Jahre) sowie eine zusätzliche Kategorie mit »prominenten Zielobjekten«. Die restlichen Nächte werden auf spezielle Beobachtungen zirkumstellarer Scheiben (20 Nächte), den Versuch Planeten in reflektiertem Licht mit Hilfe von ZIMPOL zu entdecken (ca. 20 Nächte) und mehrere kleinere Programme aufgeteilt.

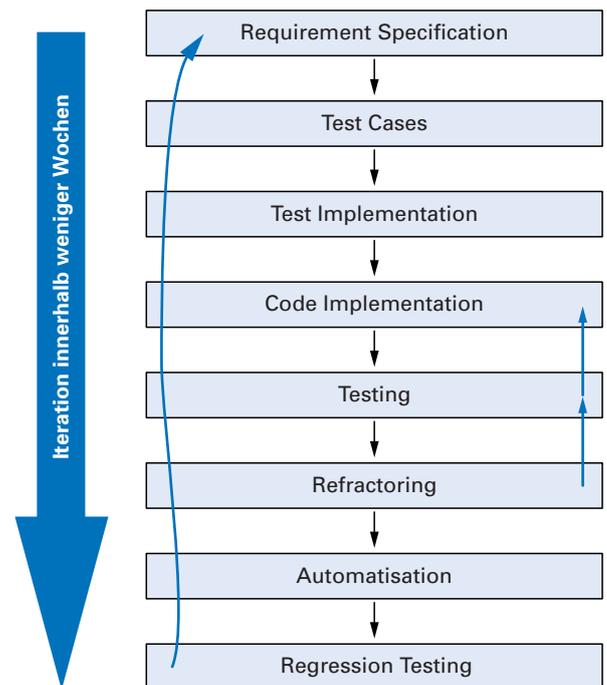
Innerhalb des SPHERE-Konsortiums ist das MPIA für die beiden Korrektoren für die atmosphärische Dispersion, die teuersten Komponenten im Common-Path-Modul, verantwortlich. Wir steuern zudem eine Dithering-Phase bei, die eine seitliche Verschiebung des IRDIS Hawaii 2RG-Detektors zwischen den Integrationen ermöglicht. Dieses Verfahren wird dazu beitragen, die Flatfield-Präzision des Systems durch sukzessive Nutzung von bis zu 100 Pixeln für die Darstellung eines Punkts am Himmel zu verbessern und somit die durchschnittliche Unsicherheit der Flatfield-Empfindlichkeit zu senken. Diese Phase wird durch so genannte Piezo-Schalter gesteuert – eine gemeinsame Entwicklung von Physik Instrumente (PI) und MPIA. Diese Schalter, die

auf der NEXLINE -Serie von PI basieren, bieten eine hohe Auflösung, einen langen Verfahrensweg und eine starke Haltekraft, auch wenn sie ausgeschaltet sind. Wir sind das erste Institut, das diese Schalter unter kryogenen Bedingungen benutzt. Am MPIA erfolgen derzeit Charakterisierung und Prüfung der Einheit im Labor.

Der wesentliche Beitrag des MPIA besteht jedoch aus dem Datenreduktions- und Datenverarbeitungssystem für SPHERE, das die oben genannten 79 Datenreduktionsrezepte enthält. Abb. IV.2.5 zeigt eine exemplarische Datenproduktverknüpfungsmatrix für IFS. Es gibt drei unterschiedliche Kalibrationsrezepte zur Ermittlung des instrumentellen Flatfields – die so genannte »Detektoren-Flatfield-Kalibration« wird ungefähr alle 20 Minuten durchgeführt, um die Pixel-zu-Pixel-Empfindlichkeitsschwankungen des Detektors exakt nachvollziehen zu können. Neu an SPHERE sind auch die Datenanalyseverfahren, die entweder aufgrund des Ergebnisses der Datenreduktion (Datenanalyse der Ebene 1) oder aufgrund von Rohdaten (Datenanalyse der Ebene 2) ablaufen und dabei komplexe Methoden zur Analyse der Daten auf die Existenz leuchtschwacher Punktquellen im Feld anwenden – und damit dem hauptsächlich wissenschaftlichen Ziel von SPHERE gewidmet sind, der Entdeckung von Planeten.

In einem komplexen System wie SPHERE mit dessen Datenreduktions- und Datenanalyseverfahren können Fehler, welche die endgültige Nachweisbarkeit extrasolarer Planeten einschränken, nicht nur durch die Hardware des Systems, sondern auch aus der Datenverarbeitung entstehen. Komplexe Algorithmen kombinieren indivi-

Abb. IV.2.5: Datenproduktverknüpfungsmatrix von IFS.



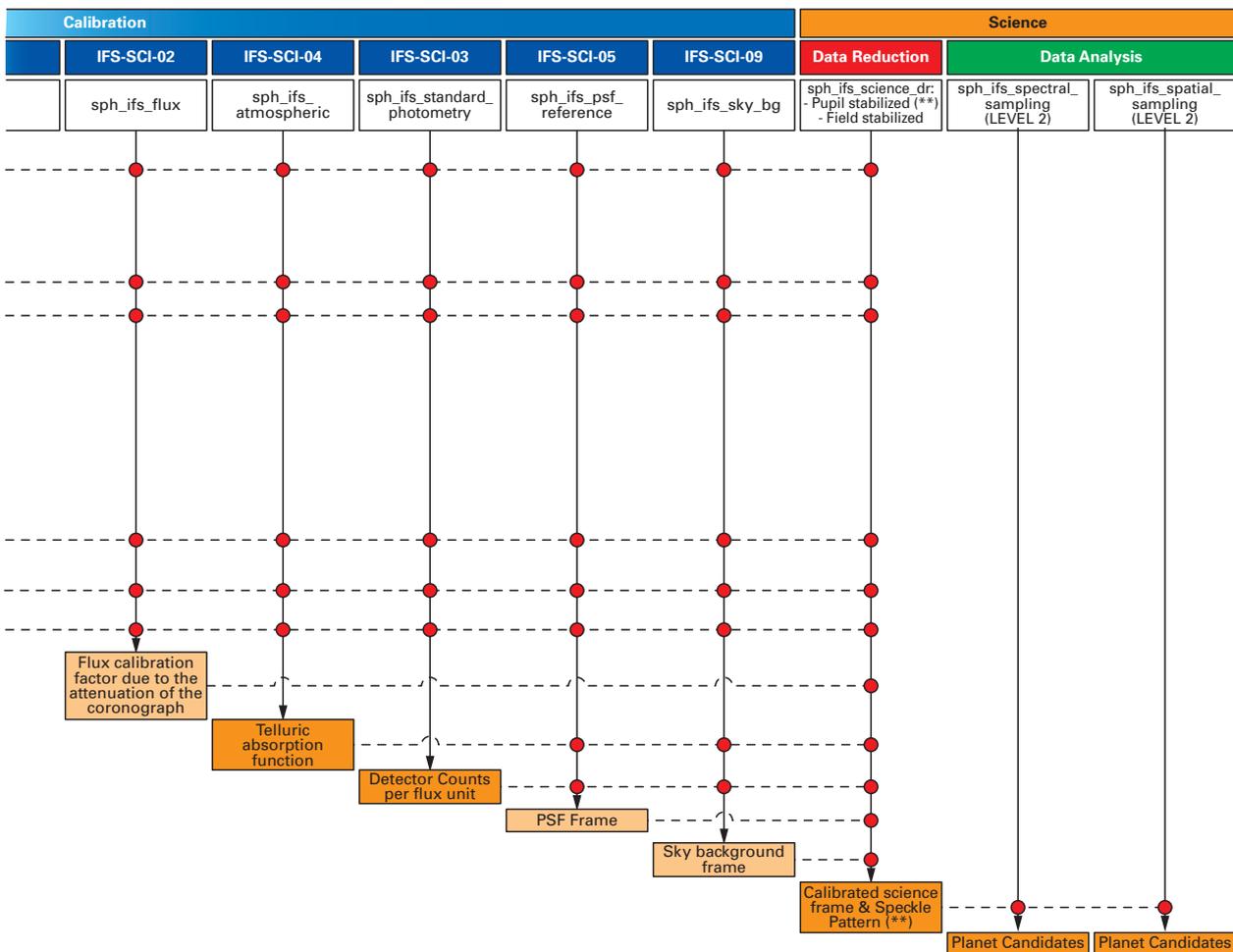
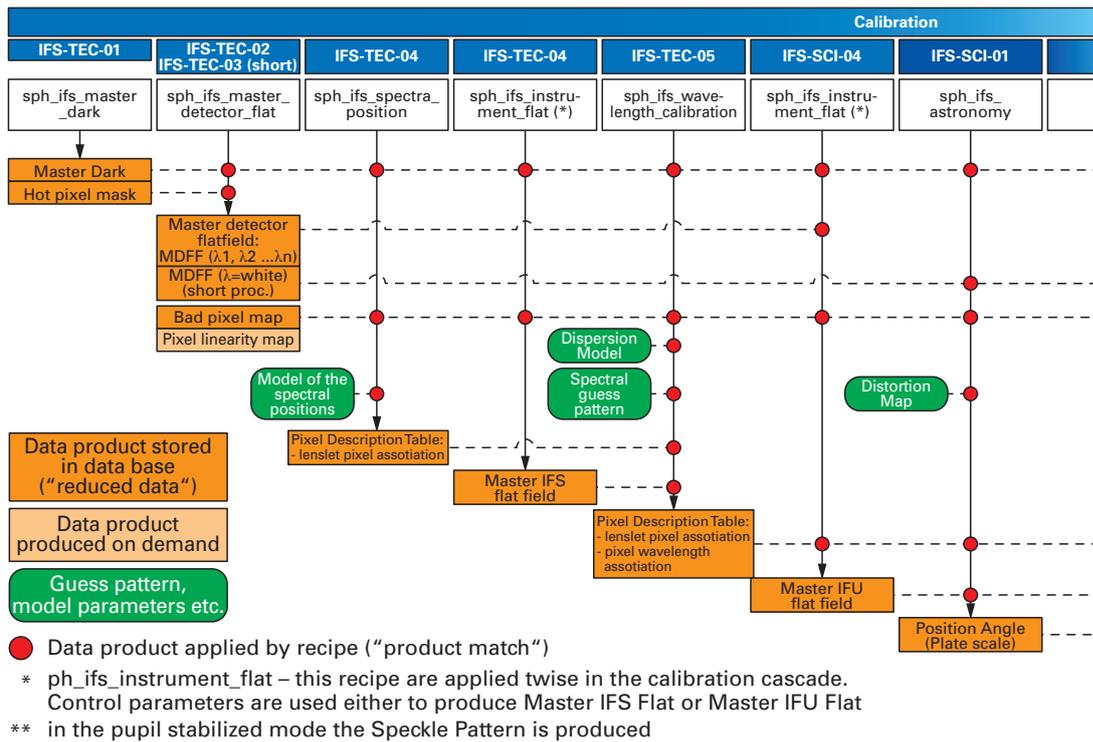


Abb. IV.2.6: Darstellung eines Konzeptes einer agilen Entwicklung.

duelle Frames und korrigieren diese jeweils auf Dezentrierung, Feldrotation und Feldverzerrung, wobei gleichzeitig Speckle-Muster entfernt werden, die aus (quasi) statischen Abbildungsfehlern stammen. Numerisch eingebrachte Fehler sind die unvermeidbare Folge solcher komplexer Algorithmen. Um solche Fehler in den Griff zu bekommen, haben wir ein komplexes Test- und Überprüfungsprogramm installiert, das jeden Schritt der Datenreduktions- und Datenanalysekaskade mit mehreren Klassen simulierter (idealer, fehlerhafter oder vorreduzierter) sowie realer Detektordaten überprüft. Für jedes Zwischendatenprodukt wird die resultierende Genauigkeit mit der Anforderung im Kalibrationsplan verglichen und seine Auswirkung auf nachfolgende Rezepte sorgfältig nachvollzogen. So können wir potentielle Fehler aufdecken und verringern, die durch die Datenreduktionsbibliothek selbst verursacht werden.

Das für das SPHERE-Projekt gewählte Konzept einer »schlanken Entwicklung«, dargestellt in Abb. IV.2.6, ermöglicht eine exakte Umsetzung des oben beschriebenen Ansatzes. Aktuelle Versionen von Zwischen-Prototypen werden noch häufigeren Tests unterzogen, und es werden auf der Grundlage der Testergebnisse oder veränderter bzw. aktualisierter Anforderungen Updates und Überarbeitungen erstellt. Dies hat sich bereits in den früheren Phasen als sehr sinnvoll herausgestellt, als die Kalibrationspläne selbst unter Hochdruck entwickelt wurden und von den Softwareentwicklern als »bewegliches Ziel« beschrieben wurden. Bei dieser Vorgehensweise können wir ständig die aktuellste Version der SPHERE-Pipeline-Software in allen Phasen der Instrumentenentwicklung – von der anfänglichen Teilsystemintegration und Überprüfung, über die Systemintegration und Charakterisierung, bis hin zur Inbetriebnahme und zu den wissenschaftlichen Betriebsphasen des Teleskops zur Verfügung zu stellen.

*Markus Feldt, Christian Thalmann,  
Joe Carson, Thomas Henning,  
in Verbindung mit:*

*LAOG (Grenoble), LAM (Marseille), LUAN (Nizza),  
OPD (Padua), ONERA (Paris), LESLA (Observatoire de  
Meudon), Observatoire de Genève, ETH Zürich,  
Universität Amsterdam, ASTRON (Leiden)*

## MATISSE und GRAVITY – Instrumente der zweiten Generation für VLTI

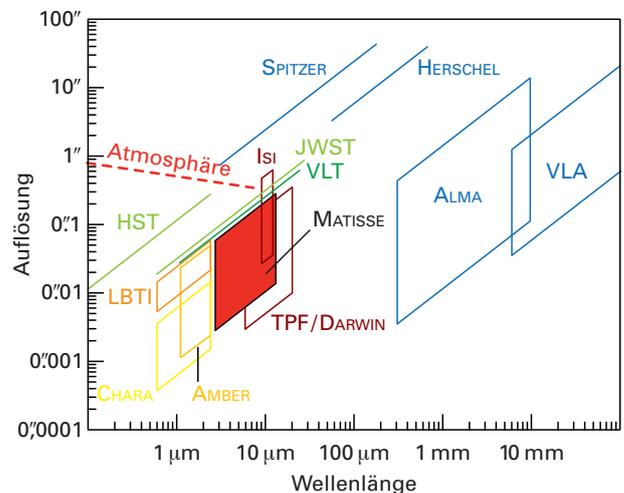
### MATISSE – Das Multi Aperture Mid-Infrared Spectroscopic Experiment

**Dies ist eines der drei VLTI-Instrumente der zweiten Generation, die 2006 von ESO für eine Phase-A-Studie ausgewählt wurden. 2007 erhielt das MATISSE-Konsortium die Zusage von ESO für die Entwicklung des Instruments entsprechend dem vorgeschlagenen Phase-A-Plan. 2008 wurde das Konzept weiter verfeinert und die offizielle Konstruktionsphase begann mit dem Kick-off-Meeting im November. Der »Preliminary Design Review« wird im Oktober 2009 erfolgen.**

2008 hat sich das MATISSE-Konzept wie folgt entwickelt: Der einzelne, sehr große Kryostat ( $1,9 \times 1,9 \times 1,5$  m) wurde durch zwei getrennte Kryostate einer Größe von  $1,15 \times 0,90 \times 1,5$  m ersetzt, die in 52 cm Abstand montiert wurden. Diese beiden Einheiten werden unabhängig hinter dem Tisch betrieben, auf dem sich die »warme« Optik befindet. Die beiden Kryostate sind fast identisch, werden aber bei verschiedenen Temperaturen betrieben. Die kalte Optik für das N-Band wird auf knapp unter 40 K herunter gekühlt, während für das L/M-Band eine Temperatur von 50 bis 60 K ausreicht. Als Detektoren wurden ein Hawaii II RG für das L/M-Band und ein Raytheon Aquarius für das N-Band ausgewählt. Sie werden auf einer Temperatur von rund 35 K (Hawaii II) bzw. 6 bis 10 K (Aquarius) gehalten.

Beide Detektoren werden von ESO gemeinsam mit ihrer Anzeigeelektronik getestet, charakterisiert und an das MATISSE-Konsortium weitergereicht. Jeder Kryostat ist mit einem zweiphasigen Pulse Tube Cooler von

**Abb. IV.2.7:** Die räumliche Auflösung von MATISSE in Abhängigkeit von der Wellenlänge, dargestellt im Vergleich mit anderen astronomischen Messinstrumenten.



Cryo-mach (CHPT-410) ausgestattet. Der erste war vor Jahresende bestellt. Im Januar 2009 haben wir mit einem speziell für diesen Zweck entwickelten Kryostaten Testläufe zur Untersuchung seiner Kühlleistung sowie zur Feststellung von Temperaturschwankungen und Schwingungen durchgeführt.

Inzwischen konnte auch für MATISSE ein Ort im VLTI-Labor auf dem Paranal gefunden werden. In enger Zusammenarbeit mit dem GRAVITY-Team wurde ein Vorschlag erarbeitet, wie beide Instrumente neben den Instrumenten MIDI und VINCI platziert werden können, ohne Zugang und Durchgang des Labors zu blockieren. Die gefundene Lösung muss noch definitiv von ESO-Paranal genehmigt werden.

Die Zusammensetzung des Konsortiums und die Aufgabenliste für dessen Mitglieder wurde im Vergleich zum Vorjahr nur leicht abgeändert. Jetzt wird die Datenreduktionssoftware zu gleichen Teilen am MPI für Radioastronomie in Bonn und am Observatoire de la Côte d'Azur (OCA) in Nizza entwickelt. Auch die Entwicklung der »warmen Optik«, ein Teil der Betriebssoftware sowie das Gesamtkonzept und die Steuerung des MATISSE-Projekts fallen in die Verantwortung des OCA. Die »kalte Optik« in den Kryostaten wird von ASTRON in Dwingeloo konstruiert. Diese holländischen Kollegen steuern auch kleinere Beiträge zum Instrument und zur Datenreduktionssoftware (DRS) bei. Das MPI für Radioastronomie wird den Großteil der DRS bereitstellen sowie für die Integration der von ESO gelieferten Detektorgeräte einschließlich der entsprechenden Software in das MATISSE-Instrument sorgen.

Das MPIA ist verantwortlich für die Kryostate und für die gesamte Elektronik, einschließlich Verdrahtung, sowie für die Software zur Steuerung des Instruments. Ab 2015 wird das MPIA darüber hinaus die Verantwortung für die Detektoren übernehmen. Im Februar 2008 wechselte Sebastian Wolf vom MPIA auf den Lehrstuhl für Astrophysik der Universität Kiel – von dort aus wird er die Aktivitäten des MATISSE Science Team koordinieren. Am MPIA ist jetzt Thomas Henning für die MATISSE-Projektleitung zuständig.

*Thomas Henning, Uwe Graser,  
Werner Laun, Christoph Leinert,  
Vianak Naranjo, Udo Neumann, Karl Wagner*

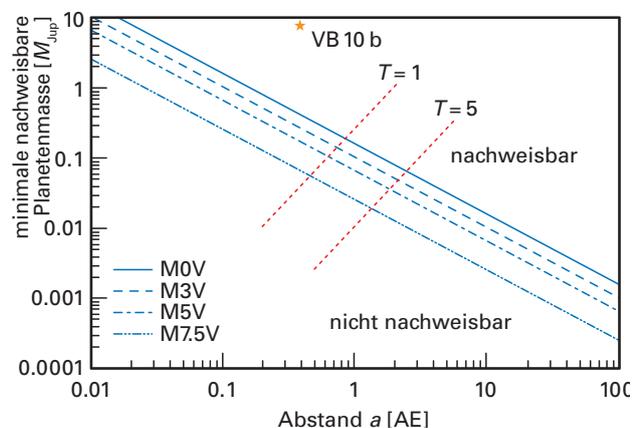
## GRAVITY – Interferometrische, phasenbezogene Abbildung

**Dieses auf adaptive Optik gestützte VLTI-Instrument der zweiten Generation kombiniert das Licht aus allen vier 8-m-Teleskopen des VLT zur interferometrischen, phasenbezogenen Abbildung. Mit einer Auflösung von 4 Millibogensekunden erlaubt es Astrometrie kleiner Winkel mit einer Genauigkeit von 10 Mikrobogensekunden für leuchtschwache Objekte von bis zu  $K = 20$  mag.**

GRAVITY nutzt den Vorteil des einzigartigen Gesichtsfeldes des VLTI mit einem Durchmesser von 1,7 Bogensekunden. Durch Messung des Winkelabstands zwischen zwei Objekten innerhalb dieses Felds soll sich die astrometrische Genauigkeit gegenüber dem aktuellen für PRIMA definierten Ziel um das Zehnfache verbessern. Um dieses Ziel zu erreichen, wird GRAVITY durch adaptive Optik unterstützt. Nach Abschluss der Phase-A-Prüfung Ende 2007 befindet sich GRAVITY jetzt in der vorläufigen Konstruktionsphase. »Erstes Licht« für GRAVITY am VLTI ist für Ende 2012 geplant.

Das Instrument wird von vier Partnern gemeinsam entwickelt: dem MPI für Extraterrestrische Physik (Principal Investigator), PHASE (selbst ein Konsortium aus französischen Instituten, einschließlich des Observatoire de Paris und des Observatoire de Grenoble), der Universität Köln und dem MPIA.

**Abb. IV.2.8:** Nachweisfähigkeit von GRAVITY für Exoplaneten rund um späte und sehr massearme Sterne in einer Entfernung von 6 Parsec in Abhängigkeit von der großen Halbachse der Planetenumlaufbahn und für stellare Massen zwischen 0,1 (M7.5V) und 0,5 (M0V) Sonnenmassen. Zum Vergleich ist der Ort des kürzlich entdeckten Exoplanetenkandidaten VB10b angegeben, der ebenfalls durch Astrometrie entdeckt wurde (Pravdo und Shaklan 2009, astro-ph/0906.0544). Die zwei gepunkteten Linien zeigen die Nachweisgrenzen für eine einjährige ( $T = 1$ ) und eine fünfjährige Untersuchung ( $T = 5$ ) an. In einer fünfjährigen Untersuchung könnte GRAVITY möglicherweise Exoplaneten mit weniger als 10 Erdmassen nachweisen.



Das MPIA entwickelt die Infrarot-Wellenfrontsensoren als eine der wesentlichen Instrumentenkomponenten für GRAVITY. Während die interferometrische Instrumentierung von GRAVITY im VLTI-Labor aufgebaut wird, werden die Nahinfrarot-Wellenfrontsensoren näher an den Teleskopen platziert, um ihre Empfindlichkeit für leuchtschwächere Quellen zu optimieren. Es werden insgesamt vier Nahinfrarot-Wellenfrontsensoren gebaut, einer für jeden Coudé-Raum in den vier Teleskopen.

Das wissenschaftliche Ziel für GRAVITY ist eine astrometrische Studie der nahen Umgebung des supermassereichen Schwarzen Lochs im galaktischen Zentrum. Mit einer Präzision von 10 Mikrobogensekunden wird GRAVITY in der Lage sein, die Umlaufbahnen von Sternen und Flares, die nur wenige Schwarzschild-Radien vom Schwarzen Loch entfernt sind, zu untersuchen und somit die allgemeine Relativitätstheorie im Grenzbereich starker Felder zu testen. Schwerpunkt des wissenschaftlichen Interesses seitens des MPIA ist eine tiefgreifende Untersuchung junger, massereicher Starburst-Sternhaufen mit dem Ziel einer präzisen Massenbestimmung der massereichsten Sterne, die Untersuchung der Dynamik der Sternhaufen und die Suche nach Schwarzen Löchern mittlerer Masse, die sich in den Zentren dieser Sternhaufen verbergen könnten. Zudem planen wir die Suche nach Planeten bei Sternen sehr geringer Masse in Sonnenumgebung.

*Wolfgang Brandner, Stefan Hippler,  
Ralf Klein, Natalia Kudryavtseva,  
Rainer Lenzen, Vianak Naranjo,  
Udo Neumann, José Ramos, Ralf-Rainer Rohloff*

#### ASTRALUX-Sur – ein Gastinstrument für La Silla

**Dieses Instrument basiert auf dem Lucky-Imaging-Verfahren, einer Methode zur Auswahl aus vielen schnellen, kurz belichteten Aufnahmen, die im Visuellen und im nahen Infrarot mit bodengebundenen 2- bis 4-m-Teleskopen eine nahezu beugungsbegrenzte Abbildung erreicht.**

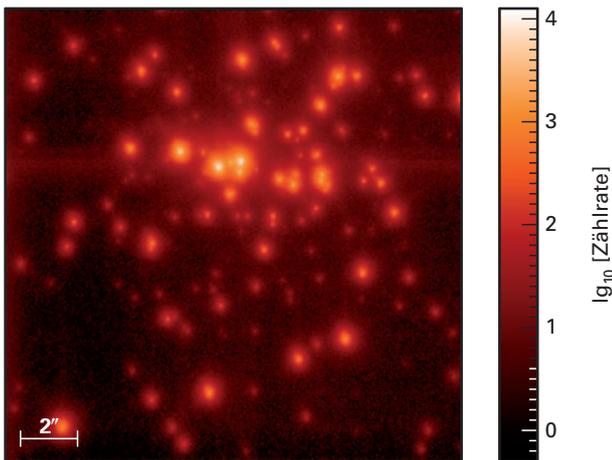
Während beugungsbegrenzte Beobachtungen vom Boden aus normalerweise im nahen Infrarot (*H*- und *K*-Band) mit Hilfe von adaptiver Optik an 8- bis 10-m-Teleskopen durchgeführt werden, strebt die Lucky-Imaging-Technik eine ähnliche Leistung bei kürzeren Wellenlängen, insbesondere im Wellenlängenbereich von 0,7 bis 1,1  $\mu\text{m}$ , an. Im Juli 2006 installierten wir das Lucky-Imaging-Instrument ASTRALUX am 2,2-m-Teleskop des Calar-Alto-Observatoriums (siehe Jahresbericht 2006). Die Einfachheit und Robustheit und der große Erfolg dieses Instruments – bis heute mehr als zehn Veröffentlichungen – mündeten im Frühherbst 2007 in der Entscheidung, ein ähnliches Instrument für das 3,5-m-NTT auf La Silla in Chile zu entwickeln.

Bereits acht Monate nach Projektstart konnten wir den schwersten Teil von ASTRALUX Sur nach Chile versenden. Der 225 kg schwere Adapterflansch wurde speziell für das NTT-Adapter/Rotorteil entwickelt. Dieser erreichte gemeinsam mit dem Flansch zum Anschluss der Kamera, dem Filterrad, der Barlow-Linse, einem verschlankten elektronenvervielfachenden, rückwärtig beleuchteten CCD (Modell iXon<sup>+</sup>), vier Computern und einem Elektronikgestell wohl behalten das Observatorium.

»First Light« vom ASTRALUX Sur erfolgte in der Nacht vom 19. Juli 2008. »First Light«-Target war der  $\sim 0,7''$  weite Doppelstern Gamma Lupi. Obwohl die Beobachtungsbedingungen sehr schlecht waren und das NTT den größten Teil der Nacht (bis auf eine halbe Stunde) geschlossen blieb, konnten wir die optomechanische Schnittstelle zum Teleskop, unsere Computerausrüstung, insbesondere die Online-Datenpipeline und die Kommunikation mit dem NTT-Steuersystem, testen. Pointing und Fokussierung funktionierten feh-

**Abb. IV.2.9:** Das Inbetriebnahme-Team von ASTRALUX Sur (von links nach rechts): Stefan Hippler, Wolfgang Brandner und Boyke Rochau. Das ASTRALUX-Sur-Instrument (mit gelben und grünen Markierungen) ist mit dem Adapterflansch verbunden (blau-weißes MPIA-Logo), der wiederum an die Nasmyth-Adapter/Rotatoreinheit am NTT angeschlossen wird.





**Abb. IV.2.10:** Der zentralbereich der galaktischen Starburst-Haufens in der HII-Region NGC 3603, die als eines unserer astrometrischen Kalibrationsobjekte dient, abgebildet mit ASTRALUX Sur im SDSS  $z'$  Band am NTT. Die 1-Prozent-Bildauswahl ergibt eine Halbwertsbreite von 120 Millibogensekunden.

lerfrei. Die Ermittlung von Bildausrichtung, Bildgröße, optischem Durchsatz sowie von ersten photometrischen Daten konnte durchgeführt werden. Außer dem 25-minütigen Zeitfenster in der ersten Nacht waren in den ersten drei Nächten wegen hoher Windgeschwindigkeiten und Schneestürmen keine Beobachtungen möglich. In

der zweiten Hälfte der vierten Nacht konnte das Teleskop geöffnet werden. In der fünften Nacht konnte zwei Stunden nach Sonnenuntergang mit den Beobachtungen begonnen werden. Die Beobachtungsbedingungen waren den größten Teil der Zeit nicht-photometrisch und das astronomische Seeing (DIMM) variierte zwischen  $1''$  und  $2,5''$ . Aufgrund der hohen Windgeschwindigkeiten unterlagen die Beobachtungen zudem sehr kurzen Kohärenzzeiten. Seit November 2008 – seit dem zweiten Beobachtungslauf von ASTRALUX Sur – können die Beobachtungen vom Remote-Control-Gebäude aus gesteuert werden. Eine Vielzahl von Computerbildschirmen ermöglicht die Steuerung des Instruments ebenso wie eine Online-Datenreduktion und -prüfung.

Nach den ersten beiden Beobachtungsläufen 2008 kann man feststellen, dass die Leistung von ASTRALUX Sur der seines Schwesterinstrumentes auf Calar Alto recht ähnlich ist. Die Beugungsgrenze wurde im I-Band bei einer Halbwertsbreite von rund 50 Millibogensekunden erreicht. Generell wird eine Winkelauflösung von 100 Millibogensekunden im I-Band und im z-Band erreicht.

*Carolina Bergfors, Wolfgang Brandner,  
Sebastian Daemgen, Kerstin Geissler,  
Thomas Henning, Stefan Hippler,  
Felix Hormuth, Armin Huber,  
Markus Janson, Boyke Rochau,  
Ralf-Rainer Rohloff, Karl Wagner*

### IV.3 PANIC – Nahinfrarot-Weitfeld-Kamera für den Calar Alto

**Das PANIC-Projekt wurde Ende 2006 initiiert. Ziel dieses Projekts ist es, eine Weitfeldkamera für den Nahinfrarotbereich für den Calar Alto zu entwickeln. Dabei handelt es sich um das erste gemeinsame Projekt des MPIA mit dem IAA in Granada. Das MPIA ist für den Mechanismus, die Detektoren und die Anzeigetechnik verantwortlich, während das IAA das optische Konzept und die optische Software beisteuert.**

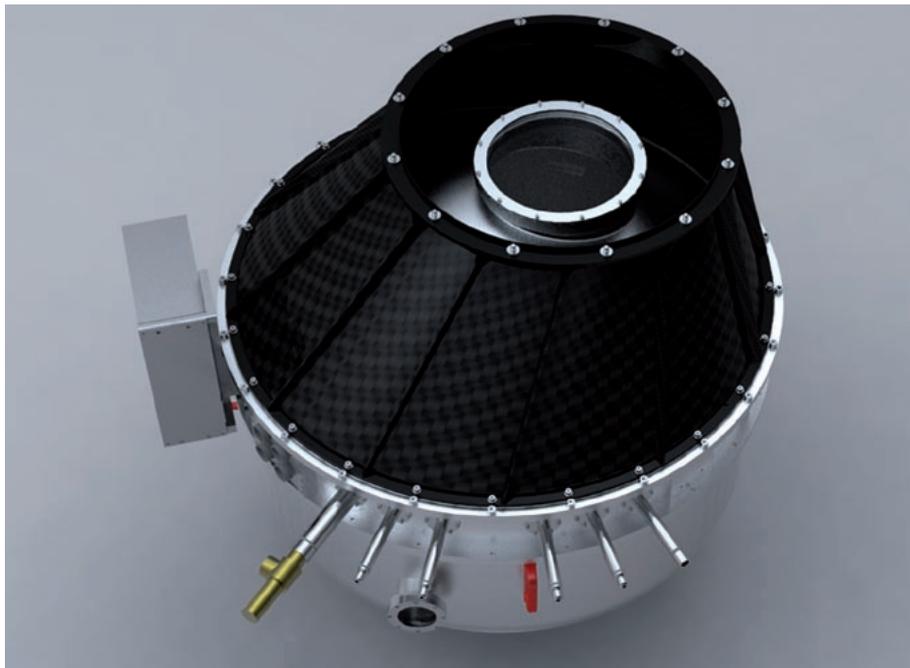
Die Entwicklungsarbeiten für das Instrument wurden 2008 fortgesetzt. Die Entscheidung für das optische Konzept ist gefallen und wurde von einem internationalen Prüfungsausschuss genehmigt. Es handelt sich um eine reine Linsenoptik mit neun Linsen. Die Bildqualität liegt bei 80 Prozent eingeschlossener Energie in zwei Pixeln über das gesamte Gesichtsfeld für alle Wellenlängen. Der Wellenlängenbereich umfasst auch das astronomische z-Band, sodass PANIC den gesamte n Spektralbereich vom z- bis zum K-Band (0,8 bis 2,5  $\mu\text{m}$ ) abdeckt. PANIC kann sowohl an das 2,2- als auch an das 3,5-m-Teleskop des Calar-Alto-Observatoriums angeschlossen werden. Am 2,2-m-Teleskop hat das Instrument eine Pixelskala von 0,45 Bogensekunden/Pixel und ist mit seinem Sichtfeld von  $0,5 \times 0,5$  Grad ideal geeignet für Durchmusterungen. Der Abbildungsmaßstab wird am 3,5-m-Teleskop halbiert, weshalb sich das Instrument dort für Beobachtungen, die ein hohes räumliches Auflösungsvermögen erfordern, gut eignet.

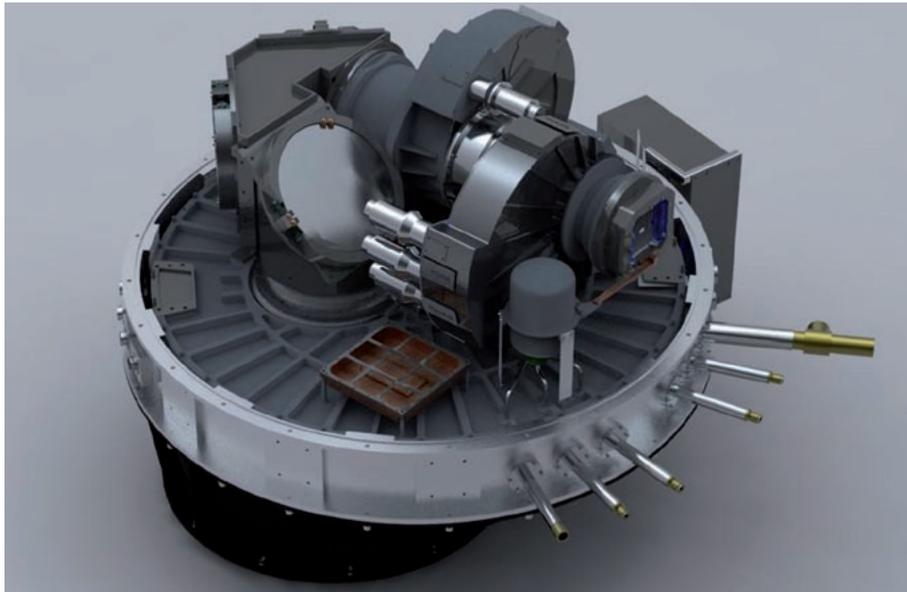
Zur Definition der Spektralbänder sind im optischen Strahlengang vier Filterräder angebracht, die Raum für 20 Filter bieten. Die optische Konstruktion ermöglicht die Nutzung von Schmalbandfiltern, deren Bandbreite ein Prozent der zentralen Wellenlänge beträgt.

Da die Betriebstemperatur der Detektoren bei 77 K (oder  $-196^\circ\text{C}$ ) liegt, befinden sich Optik und Detektor innerhalb eines Kryostaten, der mit Flüssigstickstoff gekühlt wird. Die mechanischen Toleranzen der Optik sind gering und liegen für mehrere optische Elemente in einer Größenordnung von 50 Mikrometern. Deshalb sind alle optischen Elemente auf einer optischen Bank angebracht. Dies reduziert die mechanische Biegung auf ein Minimum. Wie durch eine Finite-Elemente-Analyse nachgewiesen wurde, können die mechanischen Anforderungen für nahezu alle Teleskop-Positionen erreicht werden.

Computererzeugte Bilder des Instruments sind in Abb. IV.3.1 und Abb. IV.3.2 zu sehen. Der Durchmesser des Instruments beträgt ca. 120 cm, sein Gewicht ca. 400 kg. Der optische Strahlengang im Inneren des Instruments hat eine Gesamtlänge von 180 cm, ist aber über drei Spiegel gefaltet, so dass sich eine kompakte Struktur ergibt.

**Abb. IV.3.1:** Computererzeugte Außenansicht des Kryostaten. Der dunkelgrüne Kegel ist der Teleskopadapter. Die Anschlüsse für Flüssigstickstoff sind deutlich sichtbar. Die Box auf der linken Seite enthält die Ausleseelektronik.



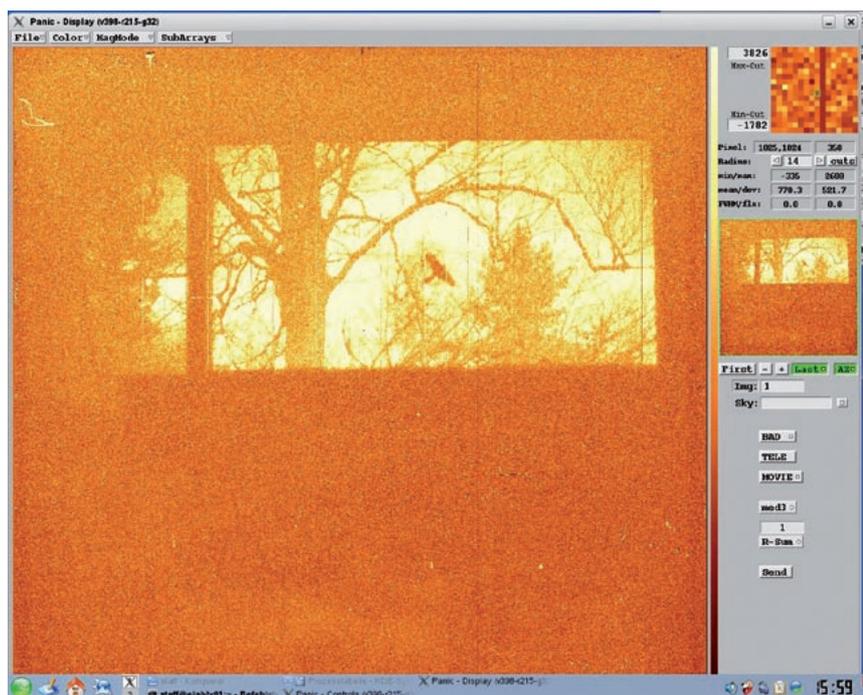


**Abb. IV.3.2:** Computererzeugte Aufnahme aus dem Innern des PANIC-Kryostaten. Zu sehen sind die optischen Elemente, die von unten an der Bank für die kalte Optik angebracht sind: die Faltspiegel (*links*), Module für die Blendenstufen und Filter (*Mitte*) und der Detektor-Array in der Fokalebene (*rechts*).

Der PANIC-Detektor ist ein aus vier  $2\text{K} \times 2\text{K}$ -Hawaii-2RG-Detektoren bestehendes Modul. Diese Detektoren sollen Anfang 2009 ausgeliefert werden. Zu Testzwecken wurde bereits ein Multiplexer ausgeliefert und erfolgreich mit unserer Anzeigeelektronik getestet.

Dieser Multiplexer allein hat nur sehr begrenzte Darstellungsfähigkeiten. Abb. IV.3.3 zeigt eine mit dem Multiplexer gewonnene Aufnahme wenige Tage nach Anlauf der Tests. Bei der Anzeigeelektronik handelt es sich um die neueste Entwicklung der MPIA-Standardanzeigeelektronik. Die Verwendung moderner, hochintegrierter Teile macht sie leichtgewichtig, kompakt und preisgünstig.

**Abb. IV.3.3:** Ein mit dem Multiplexer aufgenommener Blick aus dem Fenster demonstriert die prinzipielle Funktionsfähigkeit der Anzeigeelektronik.



tig. Eine weitere Optimierung des Ausleseprozesses mit Hilfe des Multiplexers wurde begonnen. Tests mit einem technischen Detektor sollen folgen.

Das Instrument wird computergesteuert sein. Ein bedienerfreundliche Beobachtungskonsolle wird seine Verwendung vereinfachen. Über eine vom Beobachter auszufüllende Eingabemaske wird sichergestellt, dass alle für eine Pipeline-Batch-Reduktion erforderlichen Informationen zur Verfügung stehen. Eine Schnellansicht mit Datenreduktion ermöglicht eine Online-Qualitätskontrolle der erfassten Daten. Sobald alle Daten erfasst wurden, wiederholt eine Pipeline die Datenreduktion in opti-

mierter Weise. Ziel der Pipeline ist es, dem Astronomen astrometrisch und photometrisch kalibrierte Bilder und Objektkataloge zu liefern.

*Josef Fried, Ralf-Rainer Rohloff,  
Harald Baumeister, Armin Huber, Armin Böhm,  
Karl Wagner, José R. Ramos, Matthias Alter,  
Heiko Ehret, Ullrich Mall, Vianak Naranjo,  
Walter Laun, Clemens Storz  
in Zusammenarbeit mit dem IAA, Granada*

## IV.4 METIS und MICADO – Phase-A-Studien für das E-ELT

ESO hat die Untersuchung zahlreicher möglicher Instrumente für das E-ELT, das europäische 42-m-Teleskop vorgeschlagen. Nach den T-Owl und MIDIR-Studien, die sich beide mit einem Instrument der nächsten Generation für das mittlere Infrarot beschäftigen, wurden Konsortien für die Durchführung von Phase-A-Studien für METIS, eine Kamera und Spektrograph im nahen und mittleren Infrarot, und für MICADO, eine Kamera für tiefe Aufnahmen mit mehrfach konjugierter adaptiver Optik, gebildet.

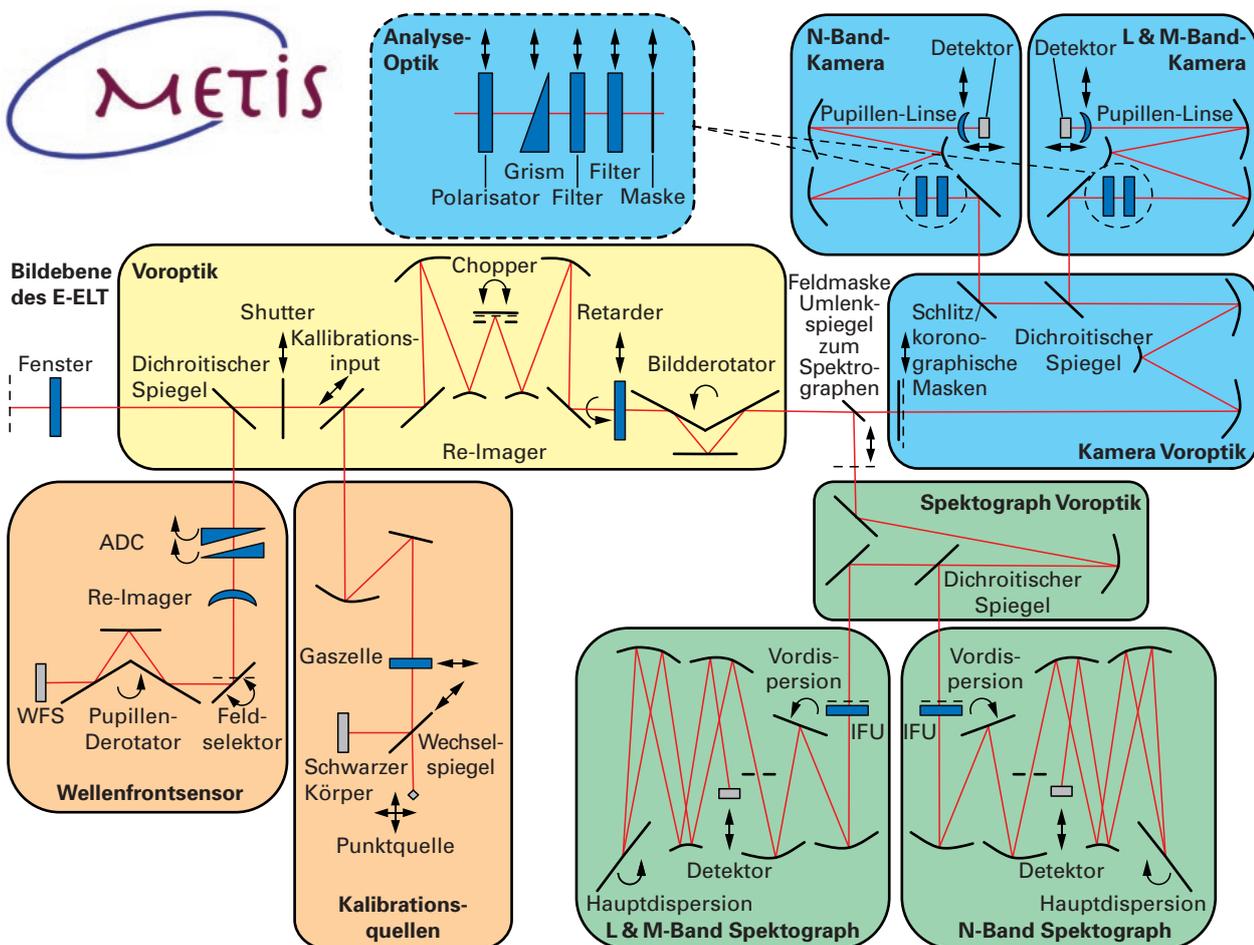
### METIS – Kamera und Spektrograph für das E-ELT im nahen und mittleren Infrarot

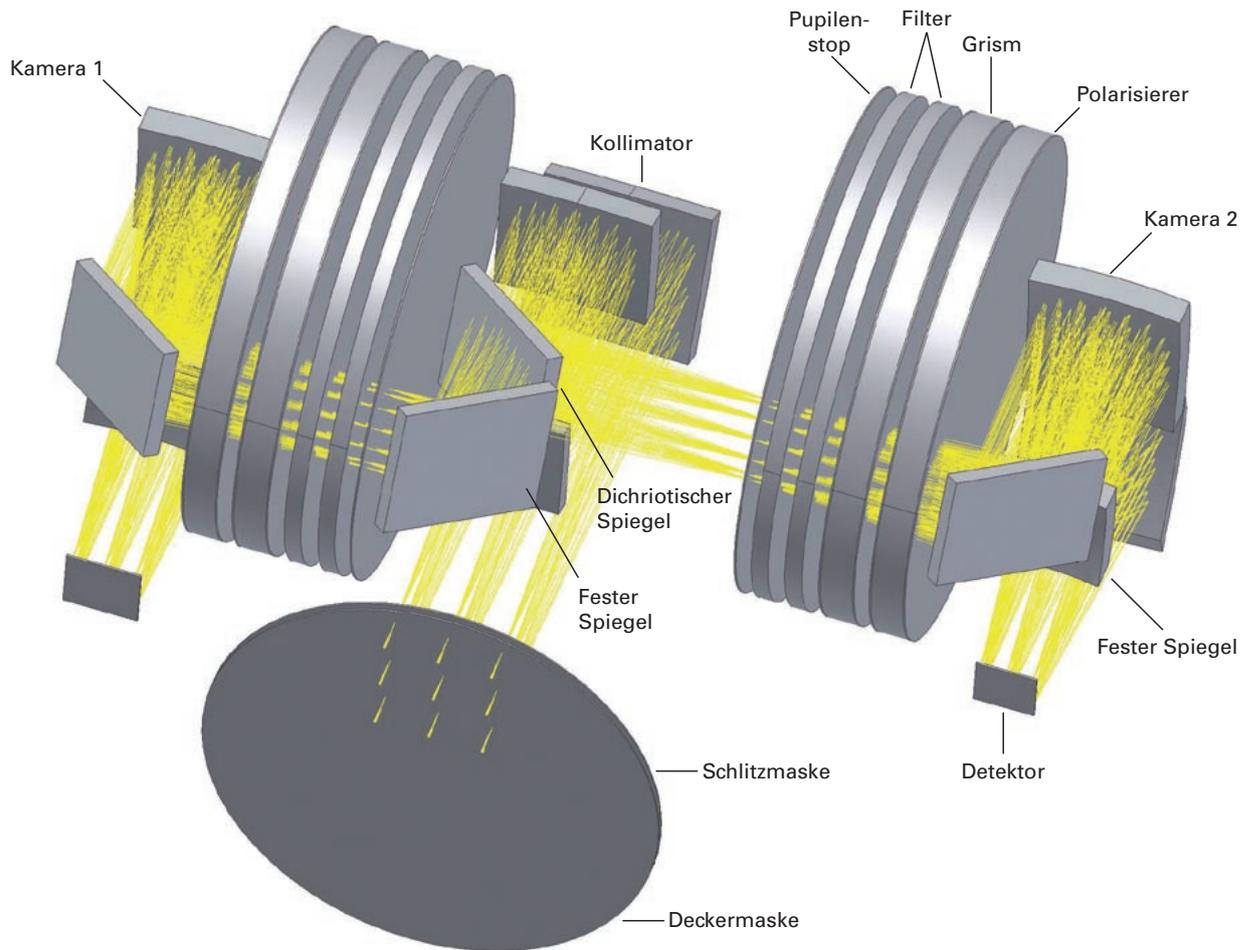
Gemeinsam mit den Universitäten Leiden, Amsterdam, Leuven sowie mit CEA-Saclay und UK-ATC hat das MPIA im Mai 2008 das METIS-Projekt gestartet. In den Wellenlängenbändern von 3,0 bis 5,5  $\mu\text{m}$  und von 8 bis 13,5  $\mu\text{m}$  wird METIS eine beugungsbegrenzte

Direktabbildung, Polimetrie und Koronographie mit einem räumlichen Auflösungsvermögen von bis zu 15 mas bieten. Zudem ist diese Kamera mit Gitterprismen (Grismen) ausgestattet, die eine Spektroskopie mit niedriger spektraler Auflösung in Kombination mit einem wiederum hohen räumlichen Auflösungsvermögen liefert.

Zudem soll dieses Instrument hochauflösende Spektroskopie bis zu  $R = 100000$  liefern, was außergewöhnliche Beobachtungsmöglichkeiten für die Erkundung extrasolarer Planeten, protoplanetarer Scheiben und galaktischer oder extragalaktischer Sternentstehungsregionen ermöglicht. Eine detaillierte Formulierung der wissenschaftlichen Zielsetzung für ein solches Instrumentenkonzept wurde entwickelt und Ende 2008 als Teil des »Mid-time Review« an ESO geliefert.

Abb. IV.4.1: Funktionsübersicht über das gesamte METIS-Instrument für nahes und mittleres Infrarot.





**Abb. IV.4.2:** Die METIS-Kamera: Zu sehen sind das optische Konzept und ein erstes mechanisches Konzept.

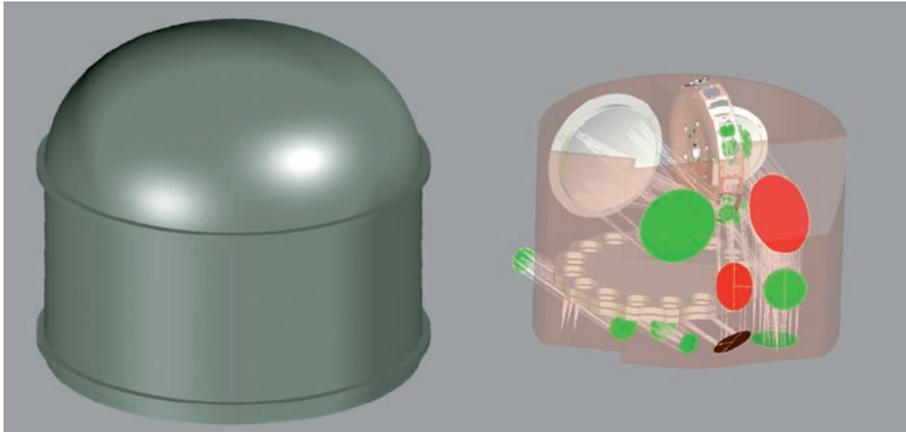
Das MPIA ist für die Spezifikation und Konzeption des Bildwändlers und der adaptiven Optik als Teil des Gesamtinstruments verantwortlich. Nach dem optischen Konzept für den Bildwandler, das Ende 2008 kurz vor dem »Mid-time Review« eingefroren wurde, wird derzeit das kryomechanische Entwicklungskonzept erarbeitet.

Gesucht wurde eine wirklich kompakte Lösung für ein Zweikanalinstrument (siehe Abb. IV.4.2). Die Kamera wird eine niedrigauflösende Spaltspektroskopie bis zu  $R = 4000$  leisten, realisiert durch »direct-ruled« Grismen. Die Koronographie wird unter Verwendung spezieller koronographischer Phasenmasken umgesetzt. In Kombination mit der Voroptik, in die sich  $\lambda/2$ -Platten einführen lassen, bietet die Kamera polarimetri-

sche Möglichkeiten durch Verwendung von Wollaston-Prismen und Drahtgitter-Analysatoren. Möglichkeiten für die differenzielle Abbildung können ergänzt werden, sobald die Dual-Band-MIRI-Detektoren zur Verfügung stehen. Standarddetektoren für METIS sind der ORION InSb-Detektor für 2,5 bis 5,5  $\mu\text{m}$  und der Aquarius Si:As-Detektor für den Wellenlängenbereich 8,0 bis 13,5  $\mu\text{m}$ , die beide von Raytheon entwickelt wurden. Das Gesichtsfeld wird bei  $18 \times 18$  Bogensekunden liegen.

Der E-ELT wird mit einem komplexen AO-System ausgerüstet, sodass eine beugungsbegrenzte Auflösung bis hinunter zur Nahinfrarot-Wellenlängen erreicht wird. Ein spezieller Wellenfrontsensor könnte für METIS vorgeschlagen werden, damit spezielle MIR-Anforderungen erfüllt werden.

*Rainer Lenzen, Wolfgang Brandner,  
Stephan Hippler, Ralph-Rainer Rohloff*



### MICADO – Die MCAO-Bildkamera für Langzeitbeobachtungen

MICADO ist ein potentieller »First-Light«-Nahinfrarot-Bildwandler für das European Extremely Large Telescope (E-ELT). Ein Gruppe aus 15 Wissenschaftlern und Technikern aus Deutschland, den Niederlanden und Italien untersucht derzeit in einer Phase-A-Studie, für die Anfang 2008 der Startschuss gefallen ist, Entwicklungsoptionen und mögliche Kompromisslösungen für MICADO.

Im ersten Teil der Untersuchung wurden verschiedene optomechanische und kryogene Lösungen für den Bildwandler untersucht. Diese Bemühungen führten zu einer erfolgreichen Zwischenbewertung (»Mid-time Review«) im Dezember 2008. Die zweite Hälfte der Studie, die den Großteil des Jahres 2009 in Anspruch nehmen wird, konzentriert sich auf die Erstellung eines detaillierteren Konzeptplans, einschließlich der Planungen für Bau, Implementierung und Betrieb des Instruments.

Die Grundkonstruktion besteht aus einer hochauflösenden Nahinfrarot-Kamera für die Spektralbereiche J bis K ( $1,0$  bis  $2,4\mu\text{m}$ ), mit einer möglichen Erweiterung zu kürzeren Wellenlängen bis zum I-Band ( $\sim 0,8\mu\text{m}$ ). MICADO sitzt am Ausgang des multi-konjugierten adaptiven Optikmoduls MAORY, das von Kollegen in Italien und Frankreich untersucht wird. Angestrebt wird ein Sichtfeld von 50 Bogensekunden bei 3 Millibogensekun-

**Abb. IV.4.3:** Der MICADO-Kryostat (*links*) hat einen Durchmesser von ca. 2 m. Das Konzept mit vollständig reflektierender Optik (*rechts*) wurde für einen hohen Durchsatz und eine exzellente Bildauflösung entwickelt.

den Auflösung. Da einige der wichtigen wissenschaftlichen Zielsetzungen mit dieser Konfiguration nur schwer zu erreichen sind, enthält MICADO einen zweiten kleineren, aber höher auflösenden Kanal mit einem  $8'' \times 8''$  Feld. Dieser Kanal kann Langspaltspektroskopie, OH-Unterdrückungsfilter und andere Spezialgeräte wie beispielsweise Polarimeter unterstützen.

MICADO wurde im Hinblick auf photometrische Empfindlichkeit und astrometrische Präzision optimiert, so dass die Astronomen leuchtschwache Objekte bis hinab zur 29. Größe messen und Himmelsobjekte mit beispielloser Detailschärfe untersuchen können. Diese Eigenschaften ermöglichen die Verfolgung wissenschaftlicher Zielsetzungen wie etwa die Untersuchung der extrem leuchtschwachen Sterne im Zentrum unserer Milchstraße, der Zentralbereiche und der aufgelösten Sternpopulationen naher Galaxien bis hin zu Populationen leuchtschwacher Galaxien und aktiver galaktischer Kerne bei hoher Rotverschiebung.

*Tom Herbst, Knud Jahnke, Hans-Walter Rix*

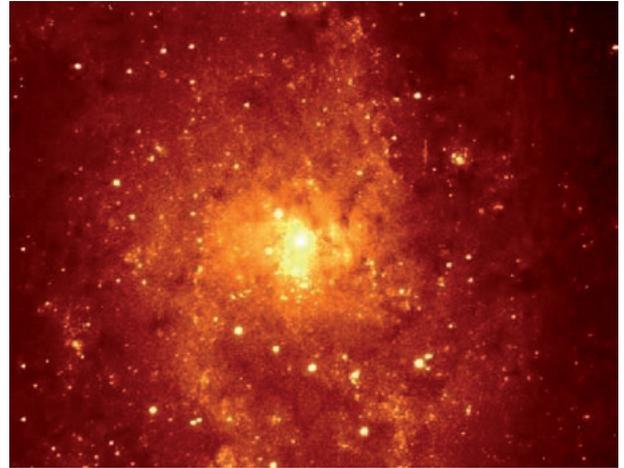
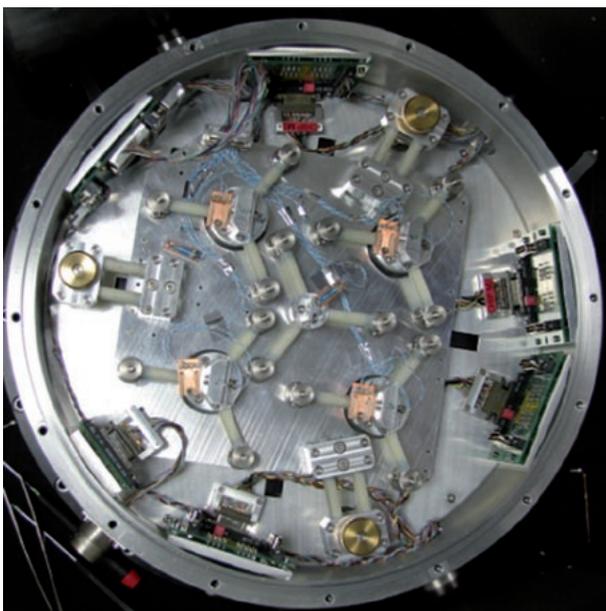
## IV.5 LAIWO – der Large Area Imager für das Wise Observatorium

**LAIWO, eine Weitfeldkamera mit einem Gesichtsfeld von einem Quadratgrad, wurde am MPIA mit dem Ziel gebaut, Transits extrasolarer Planeten vor lichtschwachen, bis hinunter zu  $I = 16$  mag hellen Zentralsternen zu suchen. Dieses Projekt ist eine Kooperation von drei Instituten: dem MPIA, der Universität Tel Aviv und dem Institut für Astrophysik in Göttingen.**

Die Kamera besteht aus vier frontseitig beleuchteten Lockheed CCD-486-Detektoren, jeweils mit  $4000 \times 4000$  Pixeln, und einer Pixelgröße von 15 Mikrometern. Die Kamera ist in zwei Segmente unterteilt: Das erste Segment besteht aus einem mit Flüssigstickstoff gefüllten Tank zur Kühlung der CCDs, wobei die CCDs an der Oberseite des Dewar-Gefäßes angebracht sind, und dem Eingangsfenster. Das zweite Segment besteht aus dem Filterschieber mit einem darin befindlichen Regler, in dem drei separate Platten mit Filtern aus einem Satz von fünf verfügbaren (Johnson B, V, R, Cousins I und Sloan z') gleichzeitig montiert werden können. Das CCD für die Nachführung, ein e2V CCD47-20 Frame-Transfer-Gerät mit  $1000 \times 1000$  Pixeln, jeweils 13 Mikrometer groß, befindet sich im Zentrum des von den vier Forschungs-CCDs umgebenen Mosaiks (siehe Abb. IV.5.1).

Die Kamera wurde im September 2007 fertig gestellt. Nach einer Erstinstallation im Oktober 2007 auf dem 1-m-Teleskop am Wise-Observatorium durch ein aus Wissenschaftlern (C. Afonso und K-H. Marien) und technischen Mitarbeitern, einschließlich einem Software-

**Abb. IV.5.1:** Die vier LAIWO-CCDs an der Oberseite des Dewargefäßes.



**Abb. IV.5.2:** »Erstes Licht«-Aufnahme vom M33 mit der LAIWO-Kamera.

Ingenieur (F. Briegel) und einem Elektronikingenieur (R. Klein), bestehendes Team vom MPIA wurde die Kamera aufgrund schwerwiegender Probleme mit den CCDs, die nicht zu reagieren schienen, nach Deutschland zurück gebracht. Eine Serie neuer CCDs wurde angeschafft und am MPIA getestet. Die neu ausgestattete Kamera wurde im September 2008 erneut nach Israel gebracht und im November vom selben MPIA-Team installiert. Die Installation erfolgte problemlos und seit dieser Zeit konnten regelmäßig jeden Monat Inbetriebnahme-Beobachtungen durchgeführt werden. Eine erste Serie wissenschaftlicher Daten wurde kürzlich erfasst und damit die Durchführbarkeit unseres Projekts bestätigt. Abb. IV.5.2 zeigt eine Aufnahme vom M33, die während der Erstlicht-Kampagne im November 2008 entstanden ist.

Wenn die Kamera weiterhin den Erwartungen entsprechend funktioniert, wird die Durchmusterung nach Transits extrasolarer Planeten im Mai 2009 beginnen. Die Beobachtungsstrategie wird aus der kontinuierlichen Beobachtung von drei Feldern zu jeder gegebenen Zeit bestehen, bis 3000 Bilder entstanden sind. Wir gehen davon aus, dass uns in einem Zeitraum von drei Jahren 15 Nächte pro Monat zur Verfügung stehen, in denen eine Himmelsfläche von insgesamt 30 Quadratgrad überdeckt werden kann. Die Beobachtungen werden mit dem 1,2-m-MONET-Teleskop in Texas USA, koordiniert, das von der Universität Göttingen betrieben wird. Die Vernetzung dieser beiden Teleskope wird die Zahl der Messungen, und damit die geschätzte Zahl von entdeckten Planeten erhöhen. Voraussichtlich werden im Verlauf der dreijährigen Beobachtungskampagne Dutzende von extrasolaren Transit-Planeten entdeckt werden.

*Cristina Afonso, Thomas Henning*

## IV.6 Instrumente für Weltraumobservatorien

### PACS – Photodetector Array Camera und Spektrometer für HERSCHEL

**HERSCHEL, Europas neues Ferninfrarot- und Submillimeter-Weltraumobservatorium, soll 2009 zusammen mit der PLANCK-Raumsonde an Bord einer ARIANE-5-Rakete in den Weltraum starten. Das MPIA ist einer der Hauptpartner, die das PACS-Instrument entwickeln, eine Kombination aus Kameras und Spektrometer für Wellenlängen von 60 bis 210  $\mu\text{m}$  mit einer beispiellosen räumlichen Auflösung. Nach erfolgreicher Fertigstellung der PACS-Hardware konzentriert man sich am MPIA auf den Aufbau des Instrumentenkontrollzentrums für PACS.**

Das Instrument Control Centre (ICC), das seinen Platz am PI-Institut, dem MPE in Garching haben wird, ist für den Betrieb, die Kalibration und die Datenreduktion des PACS-Instruments zuständig. Das MPIA ist als eines von vier Instituten des PACS-Konsortiums wesentlich an der Einrichtung des PACS-ICC beteiligt und koordiniert die Kalibration. Das MPIA ist zudem verantwortlich für die Aufstellung des Leistungsprüfungsplans für PACS, der die erste Instrumentenkalibration im Flug umfasst, sowie für das zentrale PACS-Kalibrationsdokument. Beide Dokumente waren wesentliche Meilensteine auf dem Weg zur Startbereitschaft des PACS-Instruments – die »ICC Readiness« – und zur »HERSCHEL Ground Segment Readiness« die 2008 erfolgreich absolviert wurden.

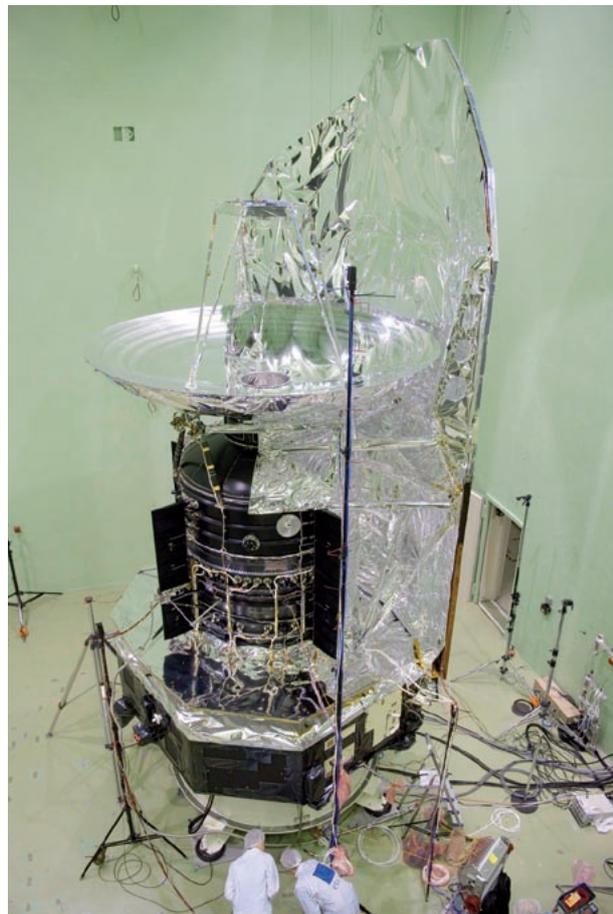
Der Leistungsprüfungsplan besteht aus mehr als 1000 einzelnen Beobachtungen mit insgesamt 750 Stunden Beobachtungszeit und wird die Leistungsfähigkeit und Empfindlichkeit des Instruments im Flug feststellen. Die Leistungsprüfung umfasst auch eine erste Kalibration im Weltraum und wird die Gültigkeit der grundlegenden astronomischen Beobachtungsabläufe (AOTs) überprüfen, die später während der HERSCHEL-Mission von allen Beobachtern verwendet werden sollen. Die Erstellung des Leistungsprüfungsplans ist eine komplexe und anspruchsvolle Aufgabe, da zahlreiche Randbedingungen für die geplante Mission zu berücksichtigen sind. Das MPIA-Team hat eng mit Kollegen des HERSCHEL Science Center in Villafranca (Spanien) zusammengearbeitet und deren Software-Tools eingesetzt. Im Jahr 2008 ist zudem die Entwicklung der Datenreduktionspipeline-Software weiter vorangeschritten. Das MPIA koordiniert die Entwicklung der PACS-Spektrometer-Pipeline. Die Verfügbarkeit guter Daten aus Bodentests ermöglichte die Überprüfung aller Verarbeitungsschritte und Datenprodukte.

Das MPIA hat darüber hinaus den Fokalebene-Chopper geliefert und ist für die Charakterisierung der großen Ge:Ga-Spektrometerkameras und ihrer kalten ( $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) Ausleselektronik zuständig. Die gesam-

te Hardware wurde in das PACS-Instrument und in den HERSCHEL-Kryostaten integriert. Nach Einbau des HERSCHEL 3,5-m-Spiegels in die Kryostaten-Baugruppe und Kühlung des Instruments auf Flüssigheliumtemperatur im Technologiezentrum ESTEC der European Space Agency (ESA) in Noordwijk (Niederlande) wurde eine Testserie für alle Instrumentenkomponenten und Software-Systeme durchgeführt. Diese Tests bestanden aus einer riesigen Anzahl kurzer Funktionstests vor und nach Vibration des gesamten Satelliten. Eine spezielle Feinabstimmung des Mechanismus des PACS-Choppers wurde vom MPIA-Team vorgenommen, um sicherzustellen, dass die Steuerkreisparameter auf Instrumentenebene auch in der komplexen Satellitenumgebung weiterhin Gültigkeit haben.

Zu den mechanischen Tests zählten die Akustiktests im Innern der LEAF (Large European Acoustic Facility) und Schwingungstests auf mehreren Shakern in den

**Abb. IV.6.1:** Das Raumfahrzeug HERSCHEL wird in der Large European Acoustic Facility (LEAF) auf die Akustiktests am 5. und 6. Juni 2008 vorbereitet.



ESTEC-Testeinrichtungen. Damit konnte bestätigt werden, dass das HERSCHEL-Raumfahrzeug den Spezifikationsanforderungen entspricht und das Flugmodell startbereit ist (siehe Abb. IV.6.1). Der Abschluss der mechanischen Tests war ein wesentlicher Meilenstein der HERSCHEL-Mission.

Die Tests bei Flüssigheliumtemperatur wurden im Dezember 2008 mit dem »System Operation Verification Test No. 2« am HERSCHEL-Satelliten im großen Weltraumsimulator bei ESTEC abgeschlossen, wobei alle Instrumente auf Betriebstemperatur heruntergekühlt und – wie während der tatsächlichen Mission – vom Mission Operations Centre bei ESOC in Darmstadt gesteuert wurden. Während dieses Tests wurden fünf Missionstage aus der Inbetriebnahme- und Leistungsprüfungsphase in allen Details simuliert. Die Mitglieder des MPIA PACS-Teams waren sowohl an der Vorbereitung als auch an der Durchführung aller Tests beteiligt. Nach diesem Test konnte HERSCHEL zum Start nach Kourou in Französisch-Guyana transportiert werden.

Im Januar 2008 verteilte der für die HERSCHEL-Beobachtungszeit zuständige Ausschuss die Beobachtungszeit für sechs »Open Time Key Programs« unter MPIA-Beteiligung, die mehrere zentrale Themen der MPIA-Abteilungen »Planeten- und Sternentstehung« und »Galaxien und Kosmologie« betrafen. Gemeinsam mit den fünf »Guaranteed Time Key Programs« unter MPIA-Beteiligung (von denen zwei von MPIA-Wissenschaftlern geleitet werden) kann das Institut umfassend an der wissenschaftlichen Ernte des Beobachtungsprogramms von HERSCHEL partizipieren, das voraussichtlich im Spätherbst 2009 beginnen wird.

*Oliver Krause, Ulrich Klaas, Jeroen Bouwman,  
Helmut Dannerbauer, Ulrich Grözinger,  
Thomas Henning, Markus Nielbock,  
Jürgen Schreiber, Jutta Stegmaier*

#### MIRI und NIRSPEC – Instrumente für das JWST

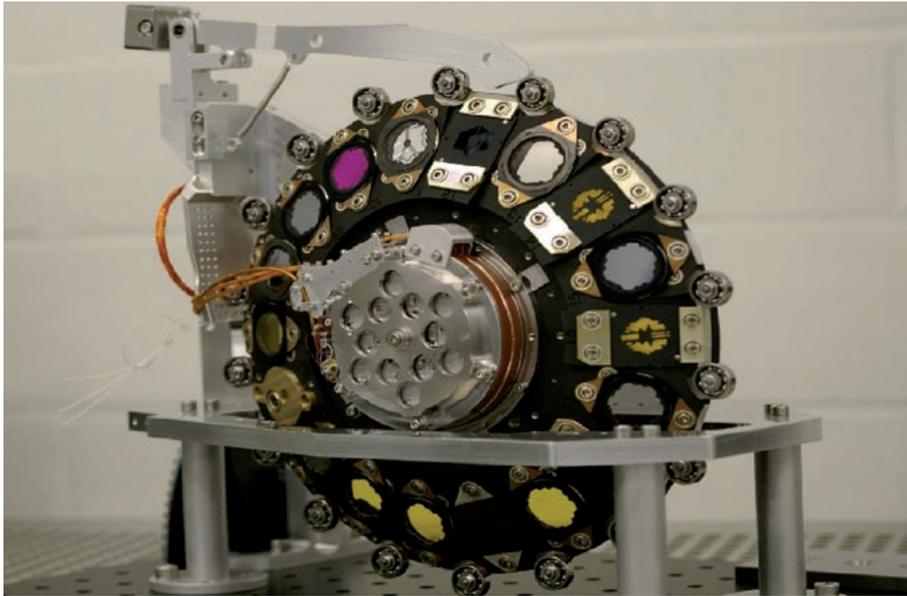
**Als führendes deutsches Institut ist das MPIA Hauptpartner in der Entwicklung des Instruments für das Mittlere Infrarot (MIRI) für das James Webb Space Telescope (JWST), den Nachfolger des Hubble Space Telescope (HST). In enger Kooperation mit seinem industriellen Partner C. ZEISS (Oberkochen) ist das Institut für den Filter- und Gitterrad-Mechanismus verantwortlich – die kryomechanischen Herzstücke, welche die volle Funktionsfähigkeit des komplexen Instruments gewährleisten. Das MPIA ist zudem für die Technik des Elektrosystems des MIRI-Instruments zuständig. Mitglieder des Instituts sind intensiv mit Bodentests von MIRI beschäftigt. Als Mitglied eines Konsortiums unter Führung von EADS-ASTRIUM Deutschland wirkt das MPIA gemeinsam mit C. ZEISS auch an der Entwicklung des Nahinfrarotspektrographen NIRSPEC für das JWST mit.**

JWST, eine gemeinsame Mission von NASA, ESA und der Canadian Space Agency (CSA), soll 2014 starten und über ein breites Infrarotwellenlängenspektrum betrieben werden. Im Herzen des JWST-Observatoriums befindet sich ein großes kaltes Teleskop, dessen Primärspiegel einen Durchmesser von 6,5 m aufweist (zum Vergleich: 2,4 m für HST) und somit enorm verbesserte Möglichkeiten für die Erforschung von Ursprung und Entwicklung von Galaxien, Sternen und Planetensystemen bietet. Um eine Blendung der empfindlichen Kameras durch ihre eigene Wärmestrahlung zu vermeiden, wird der Primärspiegel auf  $-230\text{ °C}$  abstrahlungsgekühlt. Eine solche »passive Kühlung« ist am Lagrange-Punkt L2 in 1,5 Millionen km in antisolarer Richtung möglich. Die NASA hat die Gesamtverantwortung für die JWST-Mission, die an Bord einer europäischen ARIANE-5-Rakete starten wird.

Das JWST ist mit vier wissenschaftlichen Instrumenten ausgestattet, von denen zwei hauptsächlich in Europa gebaut werden: MIRI, eine Kamera mit Koronograph und Spektrometer für den mittleren Infrarotbereich (5 bis  $28\text{ }\mu\text{m}$ ), wird von einem aus 20 europäischen Instituten bestehenden Konsortium gebaut, wobei JPL die Detektoren und die kryomechanische Kühlung liefert. NIRSPEC, ein Nahinfrarot-Multiobjektspektrograph (1 bis  $5\text{ }\mu\text{m}$ ) ist in der Lage, mit Hilfe eines Microshutter-Arrays mehr als 100 Objekte gleichzeitig zu beobachten.

Um eine Vielzahl von Beobachtungsmodi zu ermöglichen, wie Breit- und Schmalband-Imaging, Koronographie, sowie Spektroskopie niedriger und mittlerer Auflösung, ist das MIRI-Instrument mit einem Filterrad und zwei Rädern zum Austausch von Dispersionsgittern und Prismen ausgestattet. Sie ermöglichen einen Konfigurationswechsel des Instruments zwischen verschiedenen Beobachtungsmodi und Wellenlängenbereichen. Hauptanforderungen für die drei Mechanismen mit bis zu 18 Positionen am Filterrad (siehe Abb. IV.6.2) sind: zuverlässiger Betrieb bei  $T \sim 7\text{ K}$ , optische Präzision, geringe Verlustleistung, hohe Schwingungskapazität und volle Funktionsfähigkeit im Temperaturbereich  $6\text{ K} < T < 300\text{ K}$ . Um diese strengen Anforderungen zu erfüllen, wurde ein während der europäischen ISO-Mission weltraumprobter Mechanismus gewählt, der aus einer zentralen Halterung besteht, auf der die optischen Räder, ein zentraler Drehmotor zu deren Betätigung, ein Ratschensystem für die exakte und kraftfreie Positionierung und ein magneto-resistenter Positionssensor angebracht wurden. Dasselbe Prinzip wird in den beiden Mechanismen für NIRSPEC, einem Filter und einem Gitterrad, benutzt.

Nach dem erfolgreichen Abschluss der »Critical Design Reviews« 2007 stand die gesamte Hardware für den Einbau bei C. ZEISS im Jahr 2008 zur Verfügung, sodass mit dem Einbau des Mechanismus begonnen werden konnte. Parallel dazu wurde die komplexe kryogene Testumgebung – einschließlich mehrerer Kryostate – für Leistungstests in Oberkochen aufgebaut. Die Auslieferung

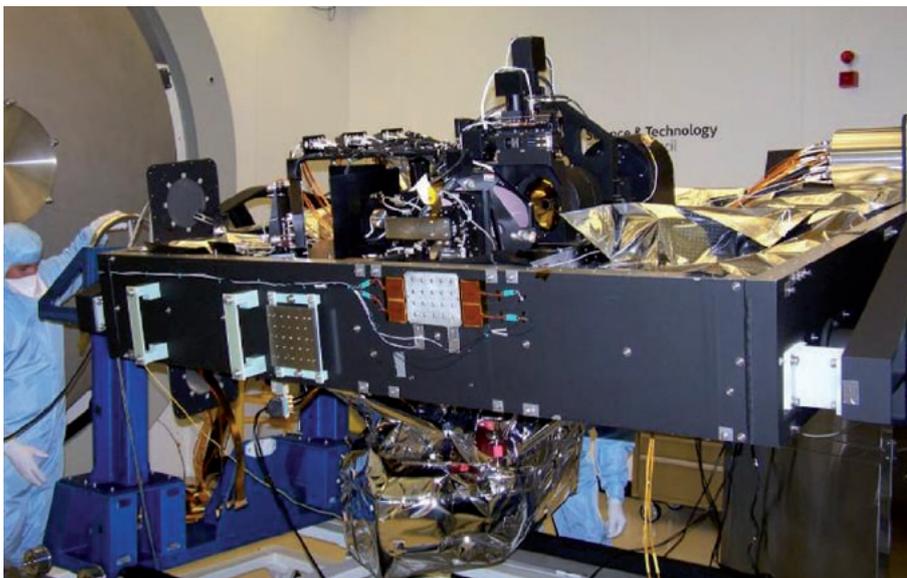


**Abb. IV.6.2:** Das Entwicklungsmodell für den Filterradmechanismus des MIRI-Instruments für das mittlere Infrarot. Filter, Graphikmasken und ein Doppelprisma auf der Radscheibe werden von einem zentralen Drehmomentmotor angetrieben, wobei die Radpositionen durch eine Ratschenarretierung gesperrt werden, die im Außenring der Führungslager einrastet. Der Mechanismus hat einen Raddurchmesser von 30 cm und ein Gesamtgewicht von 3,5 kg.

**Abb. IV.6.3:** MIRI-Verifikationsmodell (VM) plus Teleskopsimulator im Reinraum der Rutherford Appleton Labs – das erste voll funktionsfähige Modell eines wissenschaftlichen Instruments am JWST. Das Instrument ist an der Unterseite der Befestigungsstruktur zu sehen, durch eine Kohlefaser-Hexapod-Struktur unterstützt und wärmeisoliert. Der MIRI-Teleskopsimulator befindet sich an der Oberseite.

Die Verifikation der MIRI-Flugmodelle erfolgt voraussichtlich im Sommer 2009. Für NIRSPEC hat das MPIA 2008 fast alle Hardware-Komponenten geliefert: Elektrokomponenten wie Positionssensoren, Motoren, Kyroleitungen und Temperatursensoren.

Ein wesentlicher Meilenstein für MIRI konnte 2008 mit den umfassenden Tests des Verifikationsmodells (VM) des MIRI-Instruments (Abb. IV.6.3) am Rutherford Appleton Laboratory in Oxfordshire (GB) erreicht werden. Ziel des VM – als voll funktionsfähiges Instrumentenmodell – war es, die wissenschaftliche Leistungsfähigkeit mit Hilfe eines Teleskopsimulators, über den Kalibrationssignale und alle elektrischen Schnittstellen bereitgestellt wurden, zu kontrollieren und zusätzliche Sicherheit hinsichtlich der thermischen Leistung des Instruments zu erhalten. MIRI hat als erstes der JWST-In-



strumente diese Phase der kryogenen Leistungstests erreicht. Die MIRI VM Kalttestkampagne umfasste wiederholte Funktionstests unter Umgebungs- und kryogenen Bedingungen, Ausrichtungs- und Wärmeausgleichstests, elektromagnetische Kompatibilitätstests, die Charakterisierung des MIRI Telescope Simulators (MTS) und MIRI VM-Leistungstests. Mitglieder des MIRI-Teams am MPIA haben im Rahmen von zwei kryogenen Testkampagnen zahlreiche Tests vorbereitet, durchgeführt und analysiert. Die VM-Testkampagne war sehr erfolgreich: Unter den getesteten MIRI-Leistungsparametern erreichte die Bildqualität fast alle Flugmodellanforderungen; auch das Spektrometer schnitt sehr gut ab. Außerdem funktionierten alle Radmechanismen während der gesamten Kampagne zuverlässig.

*Oliver Krause, Ralph Hofferbert, Friedrich Müller, Thomas Henning, Ulrich Grözinger, Armin Huber, Armin Böhm, Monica Ebert, Karl Wagner, S. Meister, J. Ramos, Ralf-Rainer Rohloff, Stefan Scheithauer, Thomas Blümchen, Stefan Birkmann, Matthias Alter, Örs Detre, Martin Hennemann, Jeroen Bouwman*

#### Die »Cosmic Vision«-Missionen der ESA

**Das künftige europäische Weltraumforschungsprogramm für die Jahre 2015 – 2025 wird derzeit im Cosmic Vision (CV)-Plan der European Space Agency (ESA) ausgewertet. Im Oktober 2007 wählte das Space Science Advisory Committee sechs vorgeschlagene »Cosmic Vision«-Missionskonzepte der M-Klasse und drei der L-Klasse, die aus dem ersten Aufruf stammen, für den Zeitraum 2015 – 2025 aus. In einem Auswahlverfahren konkurrieren diese Missionsvorschläge um ihre Umsetzungsmöglichkeit in den Jahren 2017/2018. Das MPIA ist an der Untersuchung von drei möglichen astronomischen Missionen der M-Klasse beteiligt.**

EUCLID, eine »Cosmic Visions«-Mission der ESA, dient der Bestimmung der Geometrie des Dunklen Universums durch Untersuchung der Beziehung zwischen Entfernung und Rotverschiebung sowie der Entwicklung kosmischer Strukturen. Zu diesem Zweck sollen die Morphologie und die Rotverschiebungen von Galaxien und Galaxienhaufen bis zu Rotverschiebungen von  $z \sim 2$ , also zurück bis in die Zeit vor zehn Milliarden Jahren, bestimmt werden. Damit wird die gesamte Epoche abgedeckt, in der die Dunkle Energie für die Beschleunigung der Expansion des Universums eine wesentliche Rolle gespielt hat. Die Beobachtungsstrategie von EUCLID basiert auf der Messung von baryonischen akustischen Schwingungen und dem schwachen Gravitationslinseneffekt, zwei komplementären Verfahren zur Untersuchung der Dunklen Energie. Die EUCLID-Studie

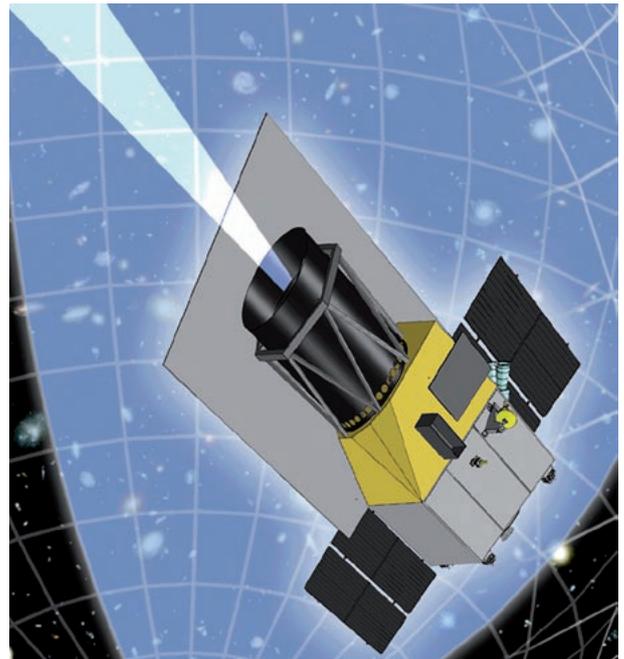
wird ein 20000 Quadratgrad großes Areal des extragalaktischen Himmels im Sichtbaren und im nahen Infrarot mit einer räumlichen Auflösung von 0,30 Bogensekunden abbilden. Sie wird zudem von ungefähr einem Drittel aller Galaxien innerhalb des durchmusterten Areals, die heller als 22 mag sind, Spektren mittlerer Auflösung ( $R \sim 400$ ) liefern.

Zwei der ursprünglichen »Cosmic Vision«-Vorschläge, der Dark Universe Explorer (DUNE) und der Spectroscopic All-Sky Cosmology Explorer (SPACE) verfolgten sehr ähnliche wissenschaftliche Ziele (d. h. Enträtselung der Natur der Dunklen Energie) mit unterschiedlichen Techniken. Weitere Untersuchungen im Laufe des Jahres 2008 führten zu dem Missionskonzept EUCLID, das beide oben genannten Techniken realisiert und derzeit einer Machbarkeitsstudie unterzogen wird. Das MPIA hat an beiden ursprünglichen Vorschlägen mitgewirkt. In der jetzigen Auswertungsphase für EUCLID ist das MPIA für die Phase-A-Studie der Kalibrationsquelle, der Filter und des Filterradmechanismus im Nahinfrarotkanal des EUCLID Imager zuständig.

*Oliver Krause, Rory Holmes, Hans-Walter Rix*

Die Mission PLATO, »Planetary Transits and Oscillations of Stars« soll Exoplaneten mit Hilfe ihrer Transit-Signatur vor einer sehr großen Zahl heller Sterne entdecken und charakterisieren und die seismischen Schwingungen der Muttersterne messen, die von diesem Planeten umkreist werden, um exoplanetarische Systeme vollständig beschreiben zu können. Diese Ziele sollen durch

**Abb. IV.6.4.** Die zukünftige ESA-Mission EUCLID hat die Vermessung der Geometrie des dunklen Universums zum Ziel.

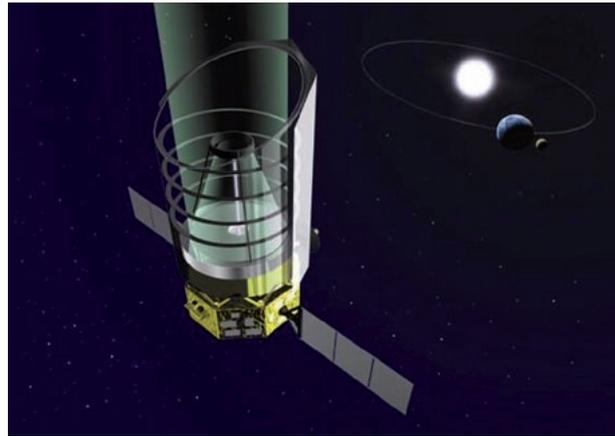


eine langfristige, hochpräzise, möglichst kontinuierliche hochzeitauflösende Photometrie heller Zwerge und Unterriesen in Sichtbarer erreicht werden. Die PLATO-Beobachtungen werden durch bodengestützte Nachfolgebeobachtungen, einschließlich einer Überwachung der Radialgeschwindigkeiten ergänzt werden, die aufgrund der Helligkeit der PLATO-Zielobjekte leicht und effizient durchzuführen sein wird.

Hauptziel der Mission ist der Aufbau einer Datenbasis für die statistische Analyse von Planetensystemen rund um Sterne, die hell und nah genug sind, um sie (simultan und/oder später) detailliert untersuchen zu können. PLATO wird 20000 Zwergsterne mit einer photometrischen Präzision von besser als 1 ppm pro Monat – entsprechend 27 ppm pro Beobachtungsstunde – sowie über 250000 Sterne mit etwas geringerer Genauigkeit vermessen. Die seismologische Analyse wird eine Bestimmung der Massen von Sternen und Planeten mit einer Genauigkeit von bis zu 1 Prozent sowie die Entdeckung erdgroßer Planeten und die Bestimmung des Alters der Systeme mit einer Unsicherheit von wenigen hundert Millionen Jahren ermöglichen. PLATO wird ein enorm großes Gesichtsfeld von 800 Quadratgrad besitzen. Die erforderliche kurze Brennweite führte zu der Entscheidung für ein System das aus einem Bündel aus 42 kleinen Teleskopen besteht, die jeweils eine Sammelfläche von 0,01 m<sup>2</sup> aufweisen.

Ein Datenzentrum am Boden empfängt die Messdaten, bringt endgültige instrumentelle Korrekturen an, liefert Produkte mit wissenschaftlichem Mehrwert und archiviert und verteilt dann alle resultierenden PLATO-Datensätze. Das Bodenzentrum wird zudem eine zusätzliche Datenbank entwickeln und pflegen, die alle verfügbaren Informationen über PLATO-Targets enthält, einschließlich speziell erworbener am Boden gewonnener Daten, wie etwa der Radialgeschwindigkeitsvariation. Das MPIA ist am Payload-Konsortium beteiligt und hat seine Mitwirkung am Bodenzentrum bei der Einrichtung und Pflege der Datenbank sowie der Entwicklung der Transit-Entdeckungsalgorithmen vorge schlagen.

*Cristina Afonso, Oliver Krause*



**Abb. IV.6.5.** Die gemeinschaftliche JAXA-ESA-Mission TT soll die Nachfolge von HERSCHEL als Ferninfrarot-Weltraumobservatorium antreten.

**SPICA**, das Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics, ist die dritte astronomische Mission im Rahmen des »Cosmic Vision«-Programms der ESA, an dem das MPIA in der Studienphase beteiligt ist. Die von japanischen Kollegen angeführte gemeinsame JAXA-ESA-Mission ist als nächste astronomische Weltraummission für Beobachtungen im fernen Infrarot nach HERSCHEL geplant.

SPICA wird mit einem monolithischen 3,5-m-Spiegel mit hoher Oberflächenpräzision ausgestattet, der auf  $\sim 4,5$  K herabgekühlt wird. Die Kombination aus einer riesigen Kollektorfläche, geringer Eigenemission und einer beugungsbegrenzten Leistung über einen zentralen Wellenlängenbereich von 5–210  $\mu\text{m}$  liefert die Grundlage für ein empfindliches und vielseitiges Arsenal von Fokalebeneinstrumenten. Dank der riesigen kalten Öffnung wird SPICA eine um zwei Größenordnungen höhere Empfindlichkeit, hauptsächlich für spektroskopische Beobachtungen, gegenüber bestehenden Einrichtungen im fernen Infrarot und HERSCHEL erreichen.

Im Rahmen von »Cosmic Vision« wird SPICA als eine »Mission of Opportunity« betrachtet, an der sich Europa mit SAFARI, einem »SPICA Far Infrared Instrument«, dem Teleskopspiegel und Unterstützung für das Bodensegment beteiligen könnte. SAFARI ist ein abbildendes Spektrometer, das den Wellenlängenbereich von 35  $\mu\text{m}$  bis 210  $\mu\text{m}$  mit einer Spektralauflösung von bis zu  $R \sim 10\,000$  abdeckt.

*Oliver Krause, Jutta Stegmaier, Ulrich Grözinger*

## IV.7 Durchmusterungsprojekte: PanSTARRS 1, GAIA, und HAT-South

### PanSTARRS1 – das Teleskop mit der weltweit größten Digitalkamera

**PanSTARRS1 (Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System, kurz PS1) ist ein ehrgeiziges und bahnbrechendes Durchmusterungsprojekt. Das spezielle 1,8-m-Teleskop am Haleakala Observatorium (Hawaii) ist mit einer 1,4-Gigapixel-Kamera ausgestattet.**

Das einzigartige Merkmal von PanSTARRS 1 ist eine beispiellose Effizienz, sowohl in Bezug auf die Geschwindigkeit, mit der ein bestimmtes Himmelsareal durchmustert werden kann, als auch in Bezug auf die dabei erreichte Tiefe. Die so definierte Effizienz erhöht sich mit dem Teleskopdurchmesser, dem von der Kamera mit einer Aufnahme abgedeckten Areal, der CCD-Empfindlichkeit sowie der Bild- und Standortqualität. PS1 nutzt eine neue Art von CCD, die als »Orthogonal Transfer Array« (OTA) bezeichnet wird und atmosphärische Schwankungen (genauer gesagt, die Tip-Tilt-Komponente der Bildunschärfe) während der Belichtung durch Ladungsverschiebung in alle vier Richtungen kompensiert. Zudem sind PS1 OTAs besonders empfindlich im roten und sehr nahen Infrarotbereich, was erstmalig den Zugang zum Wellenlängenbereich um 1 Mikron ( $y$ -Band) in einer großflächigen Durchmusterung ermöglicht. Mit diesen neuen CCDs und einem Gesichtsfeld von sieben Quadratgraden übertrifft PS1 in seiner Effizienz alle früheren Erkundungsteleskope. PS1 wird frühere Durchmusterungen allerdings auch in Bezug auf die erzeugten Datenmengen übertreffen: Rund 1 Petabyte an Rohbilddaten pro Jahr, was einen rund 20 Terabytes großen Katalog astronomischer Objekte ergibt – ca. 6000 DVDs mit wertvollen Daten. Die Astronomen des MPIA werden über eine spezielle Computergruppen-Konfiguration am Rechenzentrum der MPG in Garching auf diese Daten Zugriff nehmen.

Das PS1-Projekt wurde vom Institute for Astronomy (IfA) der Universität Hawaii mit Nick Kaiser als Principal Investigator initiiert. 2006 schloss sich das MPIA dem PS1 Science Consortium (PS1SC) an, das die Tätigkeiten des PS1-Teleskops für eine vierjährige Mission finanzieren wird. PS1SC wird in der Praxis mehrere Interlocking-Studien durchführen. Aber der größte Teil der Beobachtungszeit wird für die Abbildung des gesamten sichtbaren Himmelareals ( $3/4$  des gesamten Himmels) zweimal pro Jahr aufgewandt. So erhält man sowohl einen tieferen Einblick in die nördlichen extragalaktischen Himmelsregionen und die gesamte Milchstraße als auch erstmalig zeitabhängige Informationen über ein so großes Areal.

Neben dem MPIA und dem MPE wirken am Konsortium auch die Johns Hopkins University, das Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics/Las Cumbres Observatory Global Telescope, die Universitäten Durham, Edinburgh und Belfast sowie die National Central University von Taiwan mit. Das PS1SC hat zwölf wichtige wissenschaftliche Projekte definiert, in denen Themenkreise aus dem Sonnensystem, von der Identifizierung potentieller »Killerasteroiden« bis hin zu Fragestellungen nach entferntesten Objekten und größten kosmologischen Strukturen vertreten sind. MPIA-Wissenschaftler sind an vier dieser Schlüsselprojekte maßgeblich beteiligt. Das Projekt »PanPlanets Search for Exo-Planets by dedicated Stellar Transit Surveys« wird von Christina Afonso und Thomas Henning geleitet, während die Studie »Structure of the Milky Way and the Local Group (PanGalaxy)« unter der Leitung von Eric Bell und

**Abb. IV.7.1:** Das PS1-Teleskop in seiner Kuppel auf dem Haleakala, einem inaktiven Vulkan auf der Hawaii-Insel Maui.





**Abb. IV.7.2:** Die Fokalebene der PanSTARRS1-Kamera GPC1 mit ihren insgesamt 1.4 Milliarden Pixel bricht alle Rekorde! (IfA, University of Hawaii)

Hans-Walter Rix steht. Zwei weitere Schlüsselprojekte werden gemeinsam mit IfA-Wissenschaftlern geleitet: »Low-Mass Stars, Brown Dwarfs, and Young Stellar Objects« unter der Führung von Wolfgang Brandner und Gene Magnier, das sich auf die Jagd nach den kältesten Braunen Zwergen macht, sowie »Active Galactic Nuclei and High-redshift Quasars« unter der Leitung von Fabian Walter und PS1SC Direktor Ken Chambers, das entfernteste Quasare aufspüren will.

»First Light« für GPC1 war im August 2007, wobei das eindrucksvoll große Gesichtsfeld mit einem Bild von der Andromeda-Galaxie mit nur einer einzigen Aufnahme demonstriert werden konnte. Abb. I.10 auf Seite 20 zeigt einen kleinen Ausschnitt aus einem aktuelleren Bild. Wie bei jeder Inbetriebnahme eines neuen Teleskops oder einer neuen Kamera muss eine riesige Zahl von Teilsystemen in Betrieb genommen werden und auf Fehler untersucht werden, was in den Jahren 2007 und 2008 geschehen ist. Eine besonders herausfordernde Aufgabe war die optische Ausrichtung des Primär- und des Sekundärspiegels, der riesigen Korrekturlinse L3 (die gleichzeitig CCD-Dewargefäß ist, mit einer atmosphärischen Drucklast entsprechend einem Gewicht von 2000 kg) und der Kamera selbst.

Im April 2008 fand in Heidelberg eine besondere Veranstaltung statt: das MPIA war Gastgeber des ersten PS1SC Meetings, eines einwöchigen Workshops mit mehr als 80 Gästen aus den PS1SC-Mitgliedsinstituten. Das Meeting war für die meisten PS1SC-Mitglieder nach vielen vorausgegangenen Kontakten per E-Mail, Telefon und Videokonferenzen die erste Gelegenheit, sich gegenseitig kennenzulernen und das Kernteam von PS1

persönlich zu treffen. Die PS1SC-Wissenschaftler erfuhr aus erster Hand von den Softwareteams Wissenswertes über die Bildbearbeitungs-Pipeline, welche die Rohdatenreduktion durchführt, durchsuchbare Objektkataloge bereitstellt, sich bewegende und variable Objekte entdeckt und das »Multi-Epochen-Imaging« so staffelt, dass eine der bis heute intensivsten großflächigen Himmelserkundungen möglich wird, sowie über das »Published Science Products System« (PSPS), eine SQL-Datenbank, die eine effiziente Abfrage der enormen Datenmengen von PS1 ermöglichen wird. Das PSPS wurde vom selben Team der Johns Hopkins University konzipiert, das bereits den sehr erfolgreichen »Catalog Archive Server« für den Sloan Digital Sky Survey (SDSS) schuf. Der Großteil der Veranstaltung konzentrierte sich auf wesentliche wissenschaftliche Inhalte, wie etwa auch Informationen über die wesentlichen Teile des Projekts, deren optimale Umsetzung allen zugute kommt, sowie spezielle Gespräche über Ziele, Strategien und Ressourcen. Der Status-Bericht des PS1-Teams war natürlich für jeden von zentralem Interesse. Viele Teilnehmer genossen die geschäftige und lebhaft Atmosphäre, aus der sich viele fruchtbare Kontakte zu Themen rund um PanSTARRS und darüber hinaus ergaben.

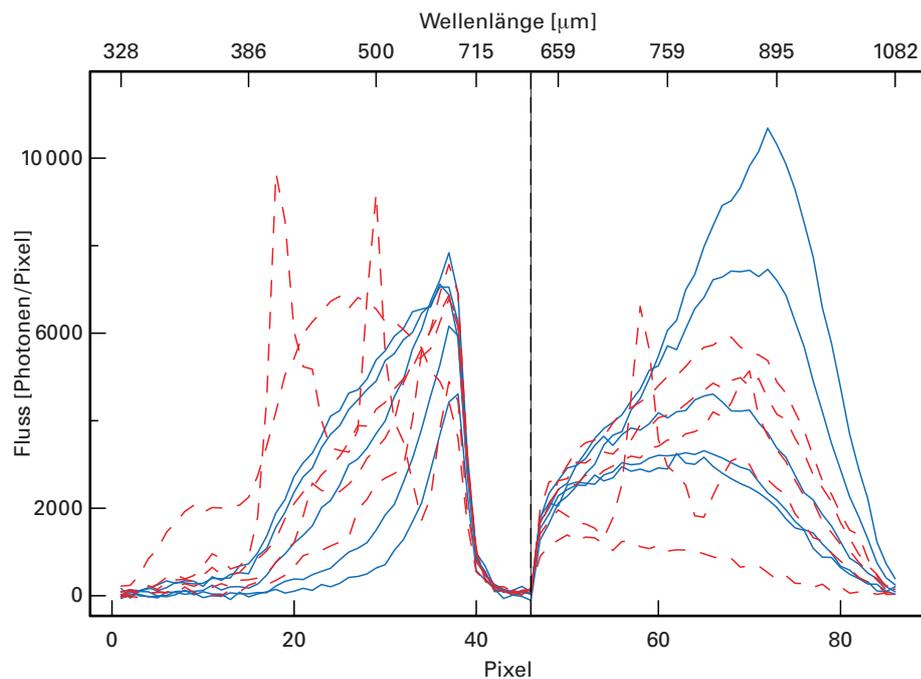
In den letzten Monaten des Jahres 2008 erlebten die PS1SC-Wissenschaftler eine intensive Phase der Charakterisierung der On-Sky-Leistung von PS1 im Vergleich zu den während der Vorarbeiten definierten Spezifikationen. Grundlage hierfür lieferten die bis dahin erfassten Inbetriebnahmedaten. Erneut wurden intensive Kontakte zwischen Wissenschaftlern aller PS1SC-Institutionen und dem PS1-Team beim IfA gepflegt. Nachdem die PS1-Leistungsfähigkeit entsprechend den vom PS1SC definierten Kriterien als annehmbar bewertet wurde, übernahmen das wissenschaftliche Konsortium und sein Direktor Ken Chambers offiziell die Verantwortung für das PS1-Teleskop und die Kamera von PS1 PI Nick Kaiser. Während der Weihnachtspause wurde die Kamera überholt, wobei insbesondere 20 OTA-Chips geringer Qualität durch bessere ersetzt wurden. Nach Aluminisierung des zweiten Spiegels und Wiedereinbau des GPC1 in das Teleskop wurde das Teleskop wieder in Betrieb genommen. Die IPP- und PSPS-Softwareentwicklung läuft weiterhin mit Hochdruck. Für 2009 erwarten die PS1SC-Wissenschaftler den Start der regulären Durchmusterung – die sprichwörtliche »Öffnung der Schleusentore«, die für die Astronomen von MPIA beispiellose Datenmengen erbringen dürfte.

*Sebastian Jester, Cristina Afonso,  
Eric Bell, Wolfgang Brandner,  
Thomas Henning, Hans-Walter Rix*

### GAIA – Astrometrische Durchmusterung der Galaxis

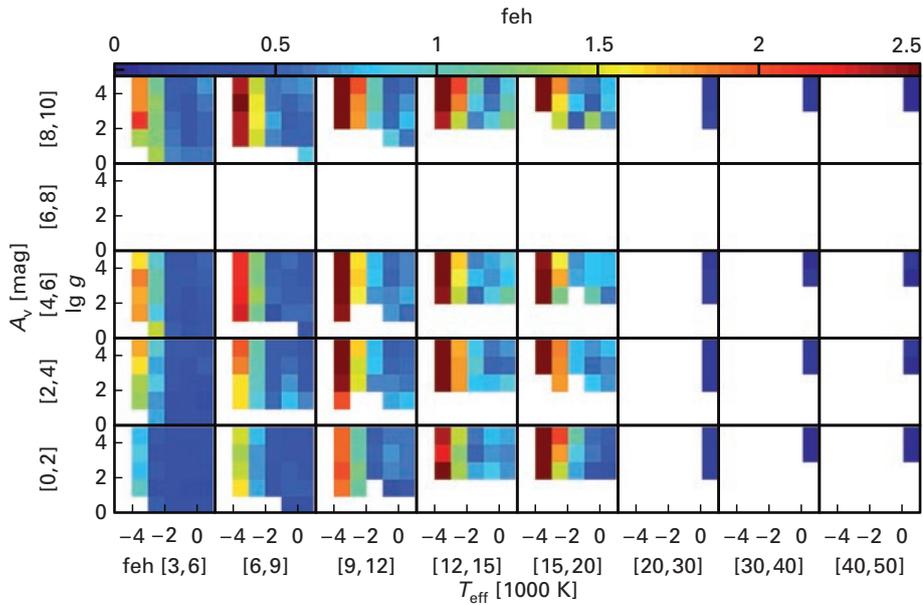
**GAIA ist die europäische Flaggschiffmission des nächsten Jahrzehnts. Nach ihrem für 2012 geplanten Start soll GAIA die bei weitem detaillierteste und präziseste astrometrische Durchmusterung angehen, die jemals durchgeführt wurde. GAIA wird mit Hilfe des parallaktischen Effekts, d.h. anhand der scheinbaren Bewegung der Sterne aufgrund der Umlaufbahn der beobachtenden Sonde um die Sonne, die Entfernungen der Sterne messen. GAIA erreicht dies durch Winkelmessungen mit einer sehr hohen Genauigkeit von einigen zehn Mikrobogensekunden – der Winkelgröße einer von der Erde aus betrachteten 1-Euro-Münze auf dem Mond. Durch Messung der Positionen über einen Zeitraum von fünf Jahren wird GAIA auch die Eigenbewegungen der Sterne messen. In Kombination mit der äußerst präzisen spektroskopischen Bestimmung von Radialgeschwindigkeiten wird sich daraus die Raumgeschwindigkeit der Sterne ergeben und eine dreidimensionale Darstellung der räumlichen Verteilung von einer Milliarde Sterne in unserer Galaxis erzeugen lassen – einschließlich ihrer bis auf wenige km/s genauen Kinematik.**

**Abb. IV.7.3:** Beispiele der GAIA-Spektren für Sterne (blau durchgezogene Linien) und Quasare (rote gestrichelte Linien) bei  $G = 18,5$  mag (Rauschen eingeschlossen). Die Spektren sind in Abhängigkeit von den Pixel-Zahlen entsprechend der oben angegebenen Wellenlängenskala dargestellt (die Dispersion ist nicht-linear). Die Spektren werden in zwei Kanälen (blau und rot) mit Hilfe von Prisma-Spektrographen gewonnen. Die Auflösung ist sehr niedrig, sodass Emissions- und Absorptionslinien nur sichtbar sind, wenn diese Merkmale sehr ausgeprägt sind.



Auf der Grundlage der beobachtungsergebnisse von GAIA wollen die Astronomen Struktur, Ursprung und Entwicklung unserer Galaxis analysieren, einschließlich der Menge und Verteilung der geheimnisvollen Dunklen Materie. Durch Entdeckung und Kartierung der Sternströme (von denen man annimmt, dass sie Überreste von Galaxien sind, die mit der unseren verschmolzen) in der galaktischen Scheibe und im Halo können wir die Geschichte des Aufbaus unserer Galaxie rekonstruieren. GAIA wird auch in der Lage sein, die geringen Positionsänderungen der Sterne aufgrund unerkannter sie umkreisender Planeten zu entdecken und wird nach den Erwartungen auf diesem Wege mehr als 1000 Exoplaneten entdecken. Gegenüber der Radialgeschwindigkeitsmethode hat diese Methode den Vorteil, dass sie für Sterne im gesamten HR-Diagramm funktioniert und für die Planeten nicht bloß untere Grenzen, sondern tatsächliche Massenwerte ergibt. GAIA wird zudem die allgemeinrelativistische Lichtablenkung auf der Größenskala des Sonnensystems mit einer bisher unerreichten Genauigkeit messen und so neue Tests für die allgemeine Relativitätstheorie liefern sowie potentiell gefährliche erdnahe Asteroiden entdecken.

Entfernungsbestimmungen sind für fast jeden Aspekt der Astrophysik von Bedeutung, weil man so Winkelgrößen auf physikalische Größen umrechnen kann und intrinsische (statt scheinbarer) Leuchtkräfte von Objekten erhält. Die Astrometrie ist die einzige Methode, die Entfernungswerte ohne Annahmen über die Quellen ergibt. Die hohe Genauigkeit der Entfernungbestimmung für eine riesige Zahl von Objekten könnte viele Zweige der Astrophysik revolutionieren. So wird beispielsweise für ca. 11 Millionen Sterne in einer Entfernung



**Abb. IV.7.4:** Beispiel für die Leistung eines der stellaren Parametrisierer von GAIA (Support-Vector-Maschinen) bei der Bestimmung von Temperatur ( $T_{\text{eff}}$ ), interstellarer Extinktion ( $A_v$ ), Metallizität (Fe/H) und Oberflächenschwerebeschleunigung ( $\lg g$ ). Die äußeren Achsen stellen Bereiche der »starken« Parameter ( $T_{\text{eff}}$ ,  $A_v$ ) dar, die sich am stärksten auf das Spektrum auswirken. Jedes Feld zeigt dann auf einer Farbskala den RMS-Fehler in der Ermittlung von Fe/H als eine Funktion der beiden »schwachen« Parameter (Fe/H,  $\lg g$ ) für den Bereich von

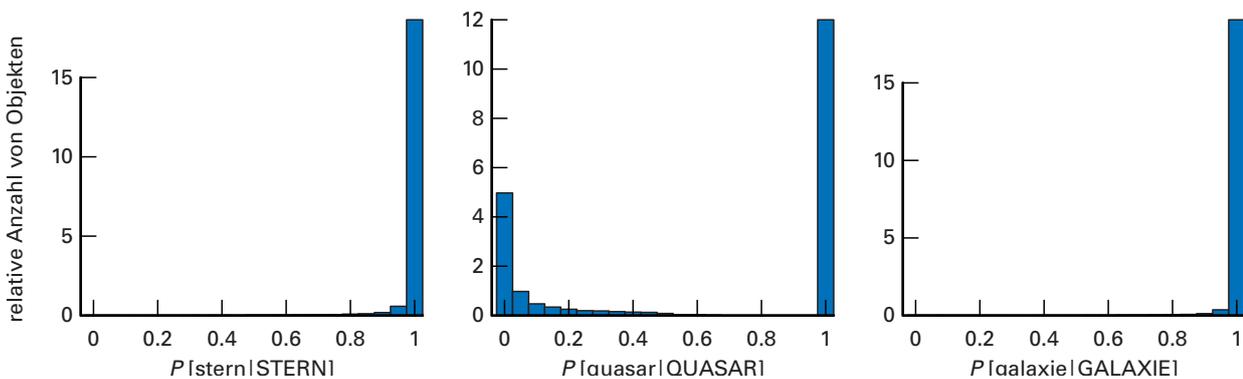
$A_v$  und  $T_{\text{eff}}$  an. So können wir die Variation der Genauigkeit für vier Parameter in einer zweidimensionalen Darstellung zeigen. Ein Metallizitätsfehler von unter 0,25 dex ist gut. Wir erreichen ihn für alle kühleren Sterne ( $T_{\text{eff}} < 9000$  K) über den Großteil des Metallizitätsbereichs und sogar für heißere Sterne mit höheren Metallizitäten. (Heiße Sterne haben eine schwächere Metallizitätssignatur). Ermutigend ist, dass dies sogar bei hoher interstellarer Extinktion möglich ist.

von 1 kpc eine Genauigkeit von 1 Prozent oder besser erreicht. Dem stehen weniger als 200 Sterne mit einer Parallaxe dieser Genauigkeit gegenüber, die während der HIPPARCOS-Mission gewonnen wurde, wobei diese Sterne alle innerhalb von 10 pc liegen. GAIA ist eine Mission der ESA. Die Datenverarbeitung wird Aufgabe

eines gesamteuropäischen Konsortiums, des GAIA Data Processing and Analysis Consortium (DPAC) sein. Aufgrund der Komplexität und der Menge der anfallenden Daten ist dies eine komplexe Aufgabe. Das Konsortium besteht derzeit aus 380 Mitarbeitern aus 79 Instituten in 23 Ländern.

**Abb. IV.7.5:** Abschätzungen der Klassenwahrscheinlichkeit des Klassifikationsalgorithmus von GAIA. Jedes Histogramm zeigt die Wahrscheinlichkeiten, die der Algorithmus Objekten zuordnet, wirklich zu der betreffenden Klasse zu gehören. Ein

perfekter Klassifizierer hätte einen Spitzenwert von 1 und ansonsten Null. Hier wird der Fall gezeigt, in dem die Häufigkeit von Quasaren ein Tausendstel der Häufigkeit von Sternen oder Galaxien beträgt.



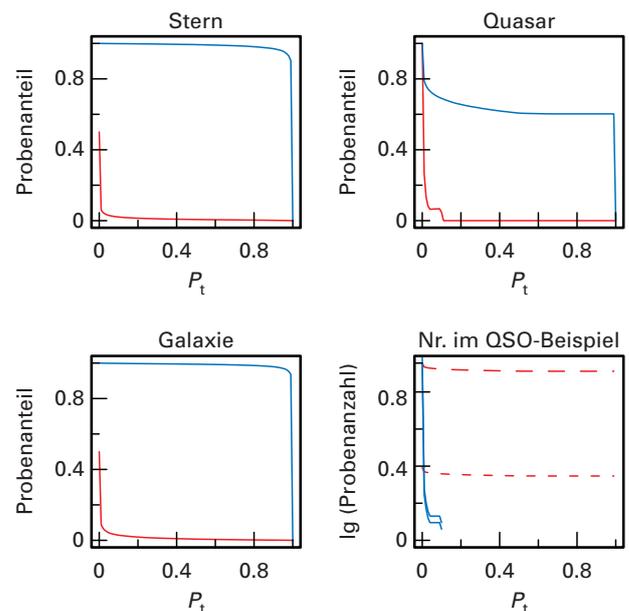
Die von GAIA gesammelten astrometrischen Daten können nur dann angemessen genutzt werden, wenn wir die physikalischen Eigenschaften der beobachteten Sterne kennen. Deshalb wird GAIA für jede Quelle, die sie beobachtet, eine niedrigauflösende, optische Spektrophotometrie durchführen (Abb. IV.7.3) sowie hochauflösende Radialgeschwindigkeitsspektren ermitteln. Eine der acht Koordinierungseinheiten des DPAC unter Leitung von Coryn Bailer-Jones am MPIA konzentriert sich auf die Ableitung astrophysikalischer Informationen aus diesen Spektren (andere Koordinierungseinheiten arbeiten an deren Extraktion, Verarbeitung und Kalibration). Eine aus fünf Wissenschaftlern am MPIA bestehende Gruppe (finanziert von der DLR und dem MPIA) konzentriert sich auf zwei spezielle Aspekte dieser Arbeit. Der erste Aspekt betrifft die separate Klassifizierung der Objekte in Sterne, Galaxien, Quasare usw. Aufgrund der Art der GAIA-Messungen wird es nur eine begrenzte oder gar keine Information über die Morphologie der Quellen geben, sodass die Kategorisierung nur über das Spektrum erfolgen kann. Die zweite Aufgabe besteht in der Bestimmung stellarer astrophysikalischer Parameter, insbesondere der Effektivtemperatur, der Oberflächenschwerebeschleunigung, der chemischen Zusammensetzung sowie der interstellaren Extinktion entlang der Sichtlinie. Dies sind die grundlegenden Parameter, die wir zur Ableitung von Masse und Alter benötigen und somit zur Umwandlung der räumlichen/kinematischen von GAIA gelieferten Verteilung in eine Verteilung bezüglich Masse, Alter und chemischer Zusammensetzung. Dadurch werden wir etwas über die chemische Entwicklung der Galaxis, Änderungen der Sternentstehungsrate usw. erfahren.

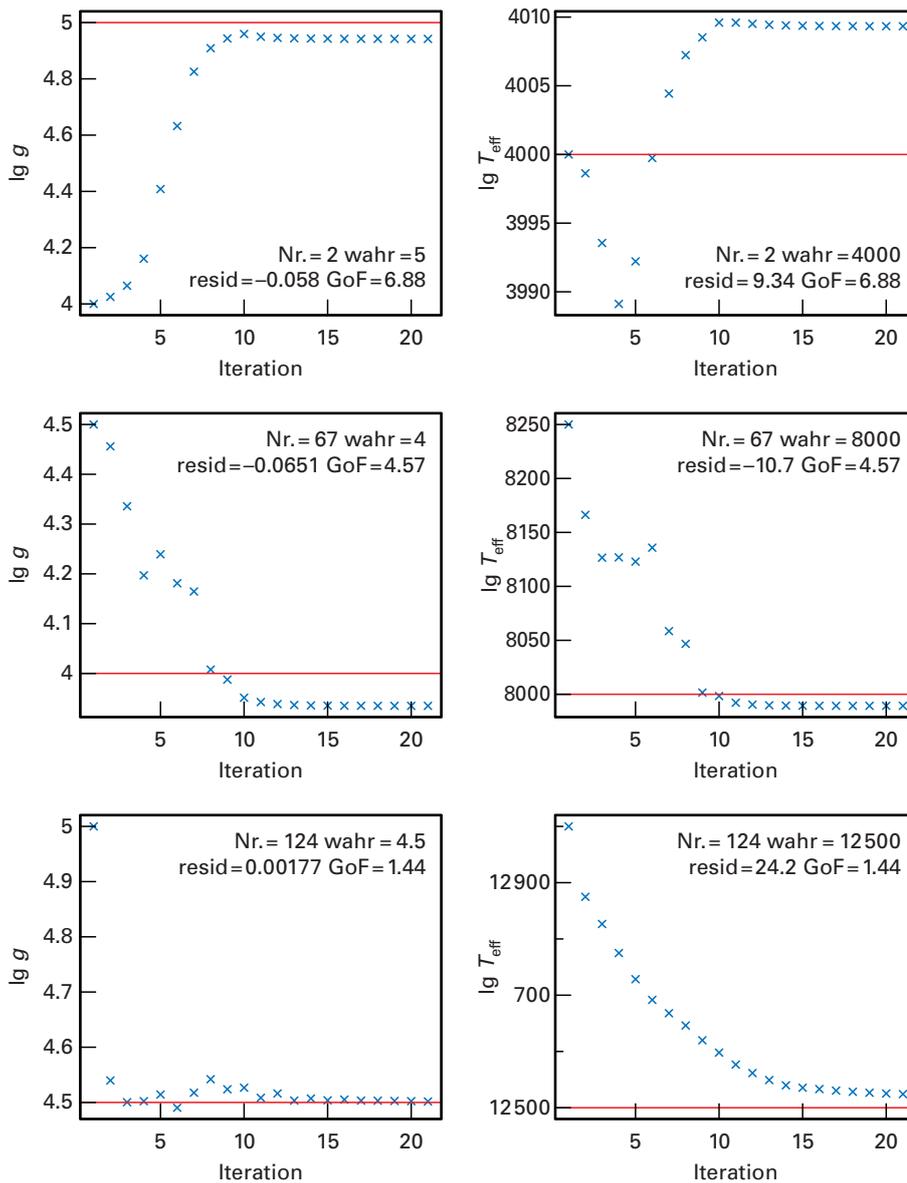
Die MPIA-Gruppe nutzt bestehende und entwickelt neue Mustererkennungstechniken zur Analyse der Spektraldaten. Zu den Standardmethoden gehören Support-Vektor-Maschinen, neurale Netzwerke, Hauptkomponenten-Analyse und Mischmodelle. Eine Einschätzung der Leistungsfähigkeit unserer bestehenden Algorithmen wird in Abb. IV.7.4 dargestellt. Mit unserer aktuellen Arbeit haben wir untersucht, wie wir sehr reine Probedaten von seltenen Objekten, wie beispiels-

weise Quasaren, aufbauen können (Quasare sind astrophysikalisch interessant, werden aber auch genutzt, um den astrometrischen Referenzrahmen von GAIA festzulegen). Die Klassifizierung ist ein probabilistischer Prozess: Mit unvollkommenen Daten können wir nahezu 100 Prozent Zuverlässigkeit erreichen. Deshalb müssen wir beim Aufbau von Probedaten die Probenvollständigkeit um ihre Kontaminierung bereinigen. Wir haben dafür eine einfache, aber potentiell leistungsstarke Methode auf der Grundlage der Bayeschen Grundsätze entwickelt. Die Methode bereinigt die normale Klassifikatorausgabewahrscheinlichkeiten so, dass unsere früheren Erwartungen hinsichtlich der Häufigkeit von Quellen verschiedener Klassen in einem Zieldatensatz berücksichtigt werden. Auf diese Weise können wir unsere Empfindlichkeit gegenüber seltenen Objekten erhöhen (Abb. IV.7.5 und Abb. IV.7.6). Unsere Simulationen lassen vermuten, dass wir eine Stichprobe von Quasaren bis herunter zu  $G = 20$  mag mit ca. 50 Prozent Vollständigkeit und einer Kontaminierung von weniger als 1 in 40000 aufbauen können. Dies lässt sich in eine Stichprobe von bis zu 250000 Quasaren mit gerade einmal sechs Kontaminanten übersetzen. Alternativ dazu können wir eine größere (vollständigere) Stichprobe aufbauen, wenn wir eine höhere Kontaminierung zulassen.

Ein weiteres Forschungsfeld war die Entwicklung einer neuen Methode für die Berechnung von Parametern aus Spektren, die als ILIUM bezeichnet wird. Häufig wird beim maschinellen Lernen versucht, ein inverses Problem zu lösen, d. h. Parameter anhand der Daten festzulegen. (Das ist invers, weil die Darstellung nicht eins-zu-eins erfolgt, wenn wir unvollkommene Daten haben.) Deshalb müssen die Methoden den Parametern implizit die Empfindlichkeit jeder Datendimension (Pixel im Spektrum) beibringen. Leider funktioniert dies

**Abb. IV.7.6:** Stichprobenaufbau mit GAIA. Mit Hilfe einer anpassbaren Wahrscheinlichkeitsschwelle (Abszisse) im Klassifizierer können wir Objektstichproben konstruieren, welche die Vollständigkeit (blaue Linie) und die Kontaminierung (rote Linie) in der Stichprobe kompensieren. Wenn der Schwellenwert steigt, wird unser Stichprobenaufbau konservativer, sodass die Kontaminierung (Anteil falscher Positivwerte) auf Kosten einer geringeren Vollständigkeit (Bruchteil der tatsächlich gefundenen Objekte) abnimmt. Wir können gleichzeitig eine kontaminationsfreie Stichprobe von Quasaren erhalten und sehr reine (weniger als 1 Prozent Kontaminierung), aber vollständige (99 Prozent) Stichprobe von Sternen und Galaxien.



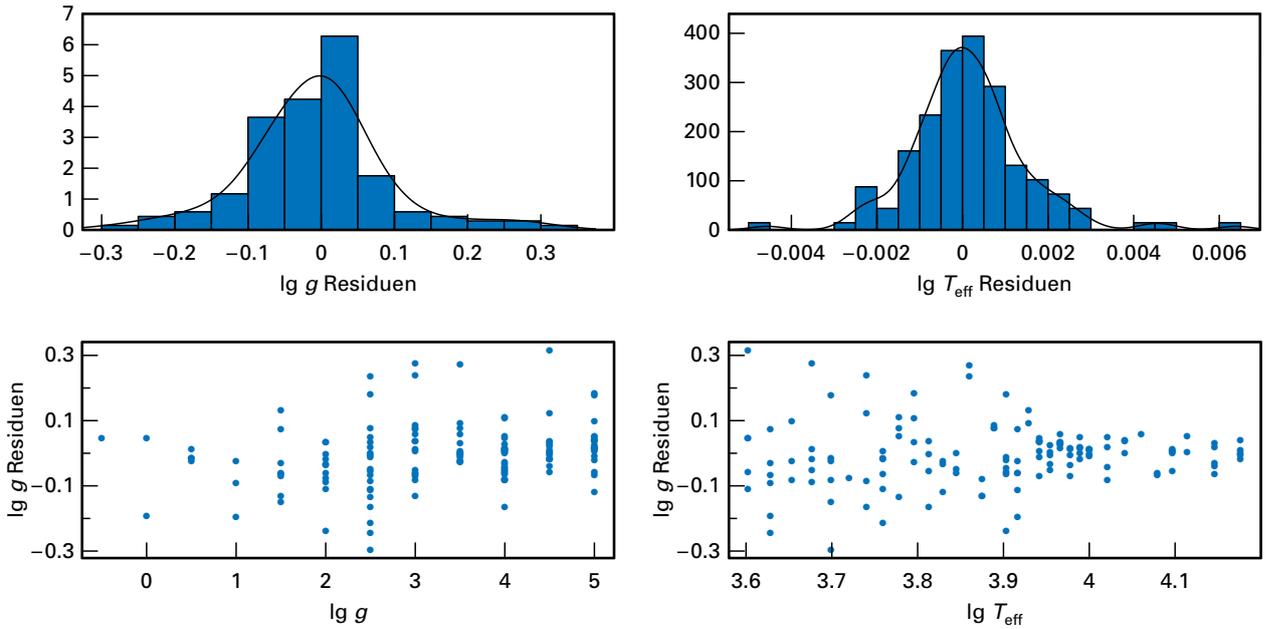


**Abb. IV.7.7:** Der ILIUM-Algorithmus errechnet die astrophysikalischen Parameter von Objekten iterativ. Die Felder zeigen die iterativen Aktualisierungen für drei Sterne (die drei Reihen) für

die Oberflächenschwerebeschleunigung (*linke Felder*) und die Effektivtemperatur (*rechte Felder*). Die rote Linie zeigt den wahren Parameter für jeden Fall.

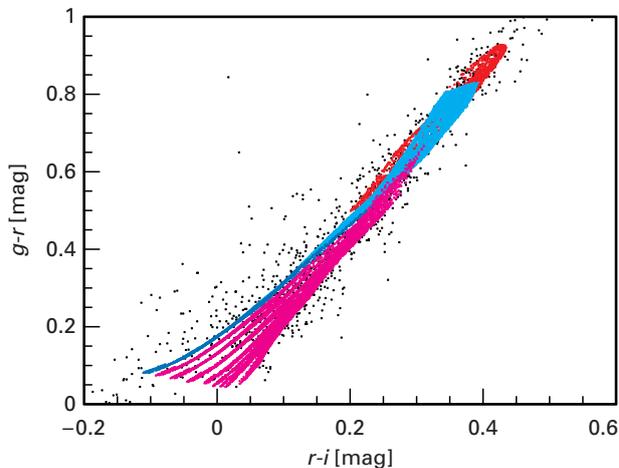
aufgrund von Verzerrungen und der Komplexität des Problems nicht besonders gut. Die MPIA-Gruppe hat den ILIUM-Algorithmus entwickelt, eine neue Methode, die diese Empfindlichkeiten unter Verwendung synthetischer Daten berechnet und diese in einem iterativen Verfahren nutzt, um astrophysikalische Parameter zu erhalten (Abb. IV.7.7 und Abb. IV.7.8). Die vorläufigen Ergebnisse lassen vermuten, dass diese Vorgehensweise etwas besser ist als Standardmethoden und zudem automatisch Informationen liefert, die Standardmethoden nicht ohne Weiteres liefern können (Fehlerschätzungen, Anpassungstests, Relevanz von Eingabedaten bei der Ermittlung der Ausgabe).

Ein wichtiger Bestandteil aller Klassifizierungsmodelle sind die Spektraldaten, auf die sie trainiert werden. Dafür nehmen wir Spektren mit bekannten astrophysikalischen Parametern und simulieren die Spektren mit Hilfe eines Modells des GAIA-Instruments. Zu diesem Zweck nutzen wir eine Reihe synthetischer und echter Spektrenbibliotheken. Unsere Gruppe hat in Zusammenarbeit mit Kollegen der Universität Athen und des Institut d'Astrophysique de Paris eine neue Bibliothek mit synthetischen Galaxienspektren aufgebaut, um die Vielzahl der für das Training verfügbaren Objekte zu erhöhen (Abb. IV.7.9). GAIA wird voraussichtlich eine Millionen Galaxien beobachten und durch Ver-



**Abb. IV.7.8:** Zusammenfassung der Leistungsstärke von ILIUM bei der Bestimmung der stellaren Oberflächenschwerebeschleunigung ( $\lg g$ ) und der Effektivtemperatur ( $T_{\text{eff}}$ ) durch Darstellung des Histogramms und der Trends der Residuen (Schätzwerte minus Echtwerte). Die durchschnittlichen absoluten Fehler für  $\lg g$  und  $T_{\text{eff}}$  (hier dargestellt für  $T_{\text{eff}}$ ) sind mit 0,07 dex und 0,2 Prozent ungefähr fünf Mal besser als ein Nächster-Nachbar-Algorithmus, der auf dieselben Daten angewandt wird.

**Abb. IV.7.9:** Synthetisierte  $g-r$  und  $r-i$ -Farben für die neue Bibliothek synthetischer Galaxien, die wir für die Klassifizierungsarbeiten für GAIA entwickelt haben. Modelle für Starburst-, unregelmäßige, spiralförmige und frühe Galaxien werden durch magentafarbene, blaue, hellblaue bzw. rote Punkte dargestellt. Die schwarzen Punkte sind SDSS-Galaxien (DR4) mit  $z < 0,01$ , die verwendet werden, um die Parameterkonfigurationen der Modelle zu steuern.



wendung ihrer Spektren werden wir in der Lage sein, ihre Rotverschiebungen und Typen zu messen und einige Aspekte ihrer Sternentstehungsgeschichte daraus abzuleiten.

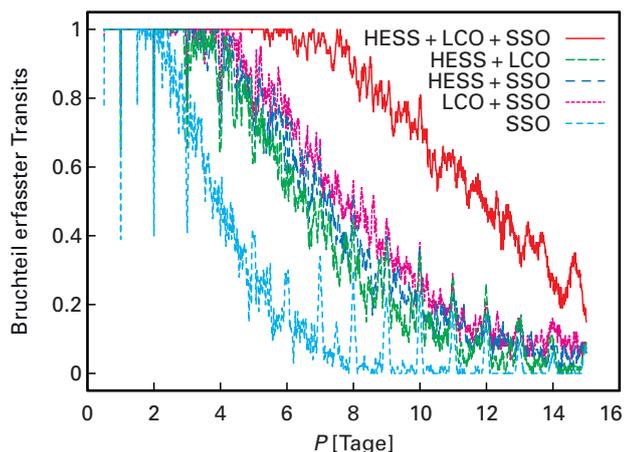
*Coryn Bailer-Jones, Christian Elting,  
Rainer Klement, Chao Liu,  
Kester Smith, Carola Tiede,  
Paraskevi Tsalmanza*

### HAT-South – Ein Netzwerk in der südlichen Hemisphäre zur Suche nach planetaren Transits

Das HAT-South Projekt ist ein Netzwerk aus 24 kleinen automatischen Teleskopen an drei verschiedenen Standorten in der südlichen Hemisphäre: Las Campanas in Chile, der Standort der HESS-Teleskope in Namibia und Siding Springs in Australien. Hauptziel ist die Durchmusterung einer großen Zahl naher Sterne zur Suche nach Transits von extrasolaren Planeten und zur Untersuchung ihrer Merkmale.

HAT-South ist eine Kooperation zwischen dem MPIA, dem Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (CfA) und der Australian National University (ANU). Jedes Institut ist für einen der Netzwerkknoten zuständig. Das MPIA übernimmt Vorbereitung und Betrieb des Standortes in Namibia. PI des Projektes ist Gaspar Bakos vom CfA. Thomas Henning ist einer der Co-PIs und Christina Afonso ist MPIA Node Manager. HAT-South steht für »Hungarian Automatic Telescope for the Southern Hemisphere«.

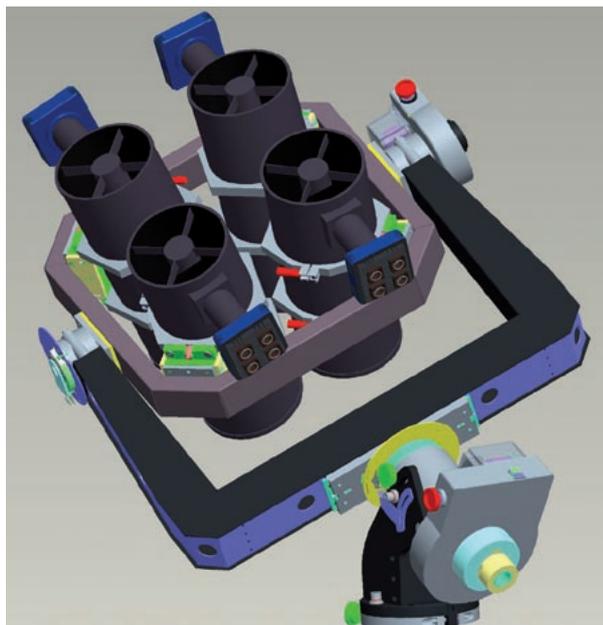
Die drei Standorte ermöglichen die Erfassung einer Reihe von Sternfeldern nahezu rund um die Uhr, was die



**Abb. IV.7.10:** Erfassung der Transits in Abhängigkeit von der Periode der Planeten für verschiedene Standortkonfigurationen. Die obere Kurve zeigt eine Simulation für drei Standorte während einer Beobachtungskampagne von zwei Monaten während des Sommers (kurze Nächte). Die mittleren Kurven zeigen die drei möglichen Konfigurationen mit zwei Standorten für denselben Zeitraum. Die untere Kurve bezieht sich auf einen einzelnen Standort.

Entdeckungsrate bei guten Wetterbedingungen enorm erhöht, insbesondere für Planeten, die länger als nur wenige Tage und nur während kleiner Bruchteile eines Tages zu sehen sind. Abb. IV.7.10 zeigt die Bruchteile der erfassten Transits für verschiedene Standortkonfigurationen: Einzelstandort, Kombination aus zwei Standorten und alle drei Standorte gemeinsam in Abhängigkeit von der Periode der betreffenden Planeten. Die südliche Hemisphäre besitzt gegenüber der nördlichen aufgrund der besseren Sichtbarkeit der galaktischen Struktur und einer höheren Sternendichte einen Vorteil für Transit-Suchen. Zusätzlich sind neueste spektroskopische Einrichtungen, die zur Bestätigung der Planetennatur der Transitkandidaten erforderlich sind, im Süden verfügbar.

An jedem Standort sollen zwei sogenannte TH4 installiert werden, jeweils bestehend aus einem Ensemble aus vier automatischen 0,18 m  $f/2,8$  Takahashi hyperbolischen Astrographen (siehe Abb. IV.7.11), jeder mit einem  $4K \times 4K$ -Apogee-CCD-Detektor und mit einem Sloan-r-Filter. Das Gesichtsfeld jeder Kamera beträgt  $4^\circ \times 4^\circ$  mit einer Pixelskala von 3 Bogensekunden, das resultierende Gesichtsfeld jedes TH4 wird deshalb  $8^\circ \times 8^\circ$  erreichen. Das Gesamtgesichtsfeld an jedem Standort wird also  $128^\circ$  betragen. Diese Konfiguration hilft bei der Identifizierung von Fehlalarm durch Dreifachsysteme, die Planetentransits vortäuschen. Die TH4-



**Fig. IV.7.11:** Entwicklungsmodell eines TH4 für HAT-South. Eine Gabelbefestigung hält vier Teleskoprohre, jeweils mit einer Öffnung von 0,18 m und einer Fokallänge von 0,5 m, einem  $4K \times 4K$ -CCD, woraus sich ein kombiniertes Gesichtsfeld von  $8^\circ \times 8^\circ$  ergibt.

Einheiten werden durch schalenförmige Strukturen geschützt und völlig automatisch betrieben. Die Vorbereitung der Infrastruktur vor Ort in Namibia wurde im März 2009 abgeschlossen. Die Installation der Teleskope wird voraussichtlich vor dem Sommer 2009 erfolgen. Mit der vollen Betriebsfähigkeit aller drei Standorte wird gegen Ende des Jahres gerechnet. Das HAT-South Projekt soll während der kommenden fünf Jahren laufen.

Der zu erkundende Größenordnungsbereich liegt bei  $9\text{ mag} < R < 13,5\text{ mag}$ , entsprechend einer Durchmusterung mittlerer Tiefe, wodurch die Lücke zwischen Durchmusterungen heller Sterne ( $R < 12\text{ mag}$ ) und tiefen Durchmusterungen ( $R < 13\text{ mag}$ ), die auf leuchtschwächere Sterne abzielen, geschlossen wird. Schätzungen der erwarteten Anzahl von Planeten auf der Grundlage der Sternzählungen in einer Modellgalaxie zeigen, dass die Entdeckungsrate bei zwei extrasolaren Planeten pro Monat oder ungefähr 25 Planeten pro Jahr liegen würde. Deshalb wird davon ausgegangen, dass HAT-South ca. 125 extrasolare Transitplaneten finden wird – eine riesige Zahl, die sich für Studien von Planetenatmosphären eignet.

*Cristina Afonso, Thomas Henning*

## V Menschen und Ereignisse

### V.1 Veranstaltungen und PR-Aktivitäten

**Das wissenschaftliche Leben am Institut wird jedes Jahr auch durch eine Vielzahl von Veranstaltungen unterschiedlichen Charakters geprägt, die vom MPIA und seinen Partnern organisiert werden. Die Bandbreite reicht von rein wissenschaftlichen Tagungen über spezielle Veranstaltungen für Schülerinnen und Schüler bis hin zu öffentlichen Events. Einen kleinen Eindruck von den Aktivitäten im Jahr 2008 gibt dieser Bericht..**

Schon immer hat am MPIA die allgemeinverständliche Darstellung wissenschaftlicher Sachverhalte eine wichtige Rolle gespielt. Neben klassischen Elementen der Öffentlichkeitsarbeit, wie Pressemitteilungen, Interviews für die Medien oder Vortragsreihen, engagiert man sich am MPIA auch auf verschiedene Art und Weise, um unterschiedliche Zielgruppen mit der Forschung am MPIA oder allgemeinen astronomischen Erkenntnissen vertraut zu machen. Besonders der zukünftige wissenschaftliche Nachwuchs und dessen Begeisterung für die Naturwissenschaften liegen uns dabei am Herzen. Auch 2008 gab es deshalb wieder eine Veranstaltung zum »Girls' Day« (im April), ein BOGY-Praktikum (im Oktober), Lehrerfortbildungen im Rahmen des Projekts »Wissenschaft in die Schulen!«, oder eine Beteiligung an den von der Klaus Tschira Stiftung veranstalteten Erlebnistagen »Explore Science« in Mannheim. Schon lange gab es deshalb die Idee, alle diese, besser durch den

englischen Begriff »Educational and Public Outreach« zu beschreibenden, Aktivitäten zu bündeln und weiter zu professionalisieren. Und so endete das Jahr mit einer Pressekonferenz am 12. Dezember 2008 äußerst positiv: An diesem Tag wurde das Vorhaben, auf dem Königstuhl ein »Haus der Astronomie« (HdA) zu gründen, einer breiten Öffentlichkeit bekannt gegeben. Einzelheiten zu diesem ehrgeizigen und nachhaltigen Plan und zu den beteiligten Partnern sind im Eingangskapitel dieses Jahresberichts nachzulesen. Die parallel zur Pressekonferenz veröffentlichte Presseinformation zum HdA war die letzte von insgesamt 15 Pressemitteilungen des Jahres 2008, die zusammen ein Presseecho von ca. 200 Zeitungsartikeln über das MPIA zur Folge hatten (ohne Berücksichtigung der Beiträge im Internet).

Begonnen hatte das Jahr mit einer von insgesamt drei öffentlichen Vortragsreihen. Im März endete die unter dem Titel »Astronomie in Heidelberg« bereits seit Herbst des Vorjahres im Planetarium Mannheim laufende Serie von Vorträgen Heidelberger Astronomen, die gemeinsam vom MPIA, dem Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg (ZAH), und dem Planetarium Mannheim veranstaltet wurde.

**Abb. V.1.1:** Der überfüllte Hörsaal des MPIA während einer der öffentlichen Vorträge unserer Serie am Sonntag Vormittag.



Von Mai bis Juli hieß das Motto dann wieder »Astronomie am Sonntag Vormittag«. Die mittlerweile etablierte Vortragsreihe am MPIA sorgte auch dieses Jahr an neun Sonntagen für einen übervollen Hörsaal – trotz der ungewöhnlichen Zeit. Und im Oktober begann das Studium Generale 2008/2009 der Universität: Auf Anregung des MPIA und unter seiner starken Beteiligung bei Planung und Durchführung ging es in 14 Vorträgen um das Thema »Galileis erster Blick durchs Fernrohr und die Folgen heute«. Namhafte Kultur- und Wissenschaftshistoriker beleuchteten die modernen Anfänge unserer Wissenschaft vor 400 Jahren, und die heute aktiven Forscher setzten das Bild ihres aktuellen Standes und ihrer Perspektiven dagegen. An diesem Kontrastprogramm begeisterten sich regelmäßig um die 400 Zuhörer, auch die nachhaltige Wirkung des Umbruchs zu Galileis Zeiten wurde herausgearbeitet – ganz im Sinne der Vorbereitung auf das kommende Jahr der Astronomie (IYA 2009), in das diese Veranstaltung weit hineinragte. Im Berichtsjahr fand in unserem Nachbarinstitut, der Landessternwarte, auch das deutschlandweite IYA-Vorbereitungstreffen statt, bei dem sich die Aktiven des MPIA einbrachten. Und auch in diesem Jahr waren wieder zahlreiche Kollegen und Kolleginnen des MPIA zu auswärtigen öffentlichen Vorträgen eingeladen.

Wie in den Vorjahren gab es auch 2008 zahlreiche Besucher, die im Rahmen von Führungen etwas über die Arbeit auf dem Königstuhl erfahren konnten. Vor allem Schulklassen nehmen dieses Angebot gerne wahr. Zu den besonderen Gästen der mehr als 30 Führungen zählten in diesem Jahr der Freundeskreis des Planetariums Mannheim (März), eine Gruppe der Rhein-Neckar-Zeitung (August), sowie die Teilnehmer der International Max Planck Research School (September).

Eine spezielle Veranstaltung fand am 31. Januar statt. Erstmals lud das MPIA zu einer Tagung des »Gesprächskreis Rhein-Neckar« ein. Dabei handelt es sich um ein Forum, in dem Wissenschaftler aus reinen Forschungsinstituten und aus der Industrieforschung im Rhein-Neckar-Raum über ihre Projekte berichten und diskutieren. Die unter der Federführung des Kirchhoff-Instituts für Physik (KIP) der Universität Heidelberg organisierte Veranstaltung fördert gezielt diesen interdisziplinären Kontakt unter Wissenschaftlern, was auch beim Treffen am MPIA deutlich wurde. Auf der einen Seite berichteten beispielsweise Thomas Henning, Roland Gredel und Klaus Jäger über die Aktivitäten am MPIA mit besonderem Blick auf die technischen Herausforderungen der Beobachtung an den neuen Großteleskopen, wie z.B. der Spektroskopie im Infraroten. Auf der anderen Seite erfuhren die Gäste von Annemarie Pucci (KIP) interessante Details über die Infrarotspektroskopie von Nanostrukturen. Auch die Mikroskopie in der Biologie oder die organische Photovoltaik waren Themen der Tagung.

Neben dieser fachübergreifenden Veranstaltung gab es natürlich auch rein astronomische Tagungen. Erstmals fand im März am KIP die »Heidelberg Astronomer's Convention« statt. Dieses Treffen hatte zum Ziel, möglichst viele der vor Ort astrophysikalisch arbeitenden Wissenschaftler und Studenten zusammenzubringen, um sich gegenseitig über laufende Projekte zu unterrichten.

Von den internationalen Tagungen sind insbesondere zu nennen:

- »Nuclear Clusters across the Hubble Sequence« (Februar, MPIA)
- Chinese-German Star and Planet Formation Workshop (März/April, Purple Mountain Observatory, Nanjing, China). Siehe auch Kapitel V.2.
- »EPoS 2008: The Early Phase of Star Formation« (Juli, Schloss Ringberg)
- »Cosmic Dust – Near & Far« (September, Heidelberger Statthalle). Siehe auch Kapitel V.2.
- Workshop »Cosmic Dust and Radiative Transfer« (September, MPIA)
- IMPRS Summer School: »The Art and Craft of Astro-nomical Instrumentation« (September, Max-Planck-Haus Heidelberg)
- »Understanding Lyman-alpha emitters« (Oktober, MPIA)
- »Classification and Discovery with Large Astronomical Surveys« (Oktober, Schloss Ringberg)
- »The high-energy astrophysics of outflows from compact objects«
- Joint workshop of MPIK and MPIA (Dezember, Schloss Ringberg)

Darüber hinaus gab es neben vielen Meetings zu den Instrumentierungsprojekten des Instituts auch ein dreitägiges Treffen zum PanSTARRS 1-Projekt und eine Sitzung der LBT-Beteiligungsgesellschaft (beide im April). Und schließlich war das Kuratorium gleich zwei Mal zu Gast: Im Februar wurde die 2007 ausgefallene Sitzung nachgeholt, im Dezember folgte dann die reguläre Sitzung für 2008.

Auch für 2008 ist festzuhalten, dass das Jahr nicht nur wissenschaftlich, sondern auch im Hinblick auf die organisatorische Gestaltung und die PR-Aktivitäten sehr erfolgreich verlaufen ist. Erneut war dies nur möglich, weil sich zahlreiche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sehr intensiv für das Institut eingesetzt haben.

*Klaus Jäger*

## V.2 Zwei internationale Konferenzen

### In Nanjing: Chinesisch-deutscher Workshop »Entstehung von Sternen und Planeten«

Die Untersuchung der Entstehung von Sternen und Planeten zählt sowohl in China als auch in Deutschland zu den grundlegenden Themen der modernen astrophysikalischen Forschung. Astronomische Institute und einzelne Forscherinnen und Forscher aus beiden Ländern haben in den letzten Jahrzehnten wichtige Erkenntnisse zu diesem Forschungsgebiet beigetragen und spielen eine führende Rolle in aktuellen Projekten. Dies gilt sowohl für die boden- und weltraumbasierte beobachtende Astronomie als auch für theoretische Studien und numerische Simulationsverfahren.

Mit dem Ziel, Möglichkeiten einer künftigen Zusammenarbeit zwischen deutschen und chinesischen Wissenschaftlern auszuloten, hatten das Max-Planck-Institut für Astronomie und das Purple-Mountain-Observatorium (PMO, Chinesische Akademie der Wissenschaften) einen gemeinsamen »Workshop on Star and Planet Formation« organisiert. 13 Wissenschaftler vom MPA und verschiedenen deutschen Universitäten sowie 13 führende chinesische Wissenschaftler nahmen an dem Arbeitstreffen teil, das vom 31. März bis 4. April 2008 in Nanjing stattfand und vom Chinesisch-Deutschen Zentrum für Wissenschaftsförderung, Beijing, finanziert wurde.

**Abb. V.2.1:** Die Teilnehmer des chinesisch-deutschen Arbeitstreffens über die Stern- und Planetenentstehung, das am Purple-Mountain-Observatorium in Nanjing stattfand.

Der Austausch von Ergebnissen aus unterschiedlichen Forschungsaktivitäten der teilnehmenden Gruppen aus China und Deutschland bot einen hervorragenden Rahmen für Gespräche über mögliche mittel- und langfristige Kooperationen. Spezifische Bereiche, die derzeit im Brennpunkt der Erforschung der Stern- und Planetenentstehung stehen und das größte Potential für Projekte unter gemeinsamer Beteiligung chinesischer und deutscher Wissenschaftler aufweisen, sind u.a.: Frühphasen der Sternentstehung, Entstehung massereicher Sterne, offene Fragen zur Entstehung massearmer Sterne sowie die Planetenentstehung. Auf der Grundlage gemeinsamer und komplementärer Forschungsinteressen und -ansätze wurden mögliche Strategien mit dem Ziel erörtert, Kooperationen auf den Gebieten der beobachtenden und der theoretischen Erforschung der Stern- und Planetenentstehung anzugehen. Darüber hinaus erhielten die deutschen Teilnehmer die Gelegenheit zu einem Besuch des PMO – wichtigstes Institut zur Erforschung der Stern- und Planetenentstehung in China. Demnächst soll ein Folge-Workshop stattfinden, um erste gemeinsame Forschungsinitiativen anzuschließen und Nachwuchswissenschaftler aus beiden Ländern in die weitere Entwicklung zu integrieren.

*Sebastian Wolf  
(für das MPA Heidelberg, jetzt Universität Kiel);  
Chinesischer Workshop-Koordinator:  
Hongchi Wang (Purple-Mountain-Observatorium)*



### In Heidelberg: »Cosmic Dust – Near and Far«

Anhand der Erforschung kosmischer Staubteilchen lassen sich physikalische und chemische Prozesse nachvollziehen, die sich in astrophysikalischen Umgebungen – vom Sonnensystem bis hin zum hochrotverschobenen Universum – abspielen. Durch Beobachtungen der Infrarot- und Millimeterstrahlungen von Staubteilchen können Strukturen, wie etwa protoplanetare Scheiben um Braune Zwerge oder entfernte Quasare, entdeckt und charakterisiert werden. Erste Analysen eingesammelter Kometenstaubteilchen eröffnen eine neue, hochinteressante Sicht auf einzelne kosmische Staubpartikel. Feste Teilchen spielen im Lebenszyklus der kosmischen Materie eine Schlüsselrolle: Sie dienen als Oberfläche für chemische Reaktionen und bestimmen durch ihre Wechselwirkung mit elektromagnetischer Strahlung, hochenergetischen Teilchen der kosmischen Strahlung und Gasparkeln den thermischen und dynamischen Zustand sowie den Ionisationsgrad von Materie.

Ziel der internationalen Konferenz »Cosmic Dust – Near and Far«, die vom 8. bis 12. September 2008 in Heidelberg stattfand, war es, die verschiedenen astrophysikalischen Disziplinen zusammenzubringen, für die der Staub wesentliche Verständnisgrundlage der kosmischen Evolution ist. Im Mittelpunkt der Tagung standen neue Erkenntnisse und Zukunftsperspektiven in der Erforschung von kosmischem Staub in so unterschiedlichen Umgebungen wie dem Sonnensystem, Atmosphären von Braunen Zwergen und Planeten, neu entstandenen Sternen, dem Staub in Supernovae, der Milchstraße und anderen Galaxien sowie dem frühen Universum. Beobachtungsergebnisse, theoretische Modelle und Resultate aus Laborexperimenten wurden vorgestellt und ihre Auswirkungen auf zukünftige bodengebundene Projekte und Weltraummissionen besprochen.

Die Tagung zählt zu einer Reihe von Konferenzen, die 1972 in Albany/USA mit einem Symposium der IAU ihren Anfang nahm, und folgt der 2003 von Adolf Witt im Rockies Conference Center organisierten, sehr erfolgreichen Konferenz »Astrophysics of Dust«. Den stimmigen Rahmen für das jetzige Treffen bildete das Heidelberger Konferenzzentrum, das sich unweit des Ortes befindet, an dem Gustav Robert Kirchhoff und Robert Wilhelm Bunsen vor 150 Jahren die Grundsteine der Spektroskopie und kosmischen Chemie gelegt hatten. Mehr als 270 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 25 Ländern nahmen an der Konferenz teil, was das enorme Interesse an diesem Thema widerspiegelt.



**Cosmic Dust  
Near & Far**

8.–12. September 2008  
Convention Center, Heidelberg, Germany

**Scientific Organizing Committee:**

Th. Henning (Heidelberg)	A. Andersen (Copenhagen)
L. Colangeli (Naples)	L. d'Hendecourt (Paris)
B. Draine (Princeton)	P. Frisch (Chicago)
E. Grün (Heidelberg)	T. Mukai (Kobe)
H. Mutschke (Jena)	Y. Pendleton (Moffett Field)
J. Steinacker (Heidelberg)	A. Witt (Toledo)

Contact: DNF08@mpia.de  
www.mpia.de/DNF08

Die Konferenz fand zu einer Zeit statt, als das Infrarot-Weltraumteleskop SPITZER und die STARDUST-Mission eine Flut neuer, spannender Daten über kosmischen Staub lieferten. Ein besonderes Angebot war der im Rahmen der Konferenz veranstaltete Fach-Workshop zum Thema »Cosmic Dust and Radiative Transfer«, der im Anschluss an das Treffen am Max-Planck-Institut für Astronomie stattfand und von J. Steinacker organisiert wurde.

Die Max-Planck-Gesellschaft, die Deutsche Forschungsgemeinschaft, die Europäische Weltraumorganisation Esa und die Universität von Toledo (vermittelt durch Adolf Witt) gewährten großzügige finanzielle Unterstützung. Die Organisation eines öffentlichen Vortrags von Elmar Jessberger, der großes Interesse fand, wurde durch die Tschira-Stiftung ermöglicht.

*Thomas Henning*

### V.3 Preise und Stipendien

#### Otto-Hahn-Medaillen der Max-Planck-Gesellschaft für Nadine Neumayer und Anders Johansen

Seit 1978 zeichnet die Max-Planck-Gesellschaft jedes Jahr bis zu 40 junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler für herausragende wissenschaftliche Leistungen mit der Otto-Hahn-Medaille aus. Diese ist mit einem Anerkennungsbeitrag verbunden. Durch die Preisverleihung sollen besonders begabte Nachwuchswissenschaftler zu einer späteren Hochschul- bzw. Forscherkarriere motiviert werden. Auf der MPG-Jahresversammlung 2008 in Dresden erhielten die Otto-Hahn-Medaille Anders Johansen für seine Untersuchung zur gravoturbulenten Entstehung von Planetesimalen in den turbulenten Gasscheiben um junge Sterne, und Nadine Neumayer für die Massenbestimmung des Schwarzen Loches im Zentrum der Aktiven Galaxie Centaurus A und den Nachweis, dass auch hier diese Masse mit der Sternenmasse der Galaxie gut korreliert.

*Nadine Neumayer's* hat sich in ihrer Arbeit am MPIA mit der Beziehung von supermassereichen Schwarzen Löchern in Galaxienzentren und den Gesamteigenschaften der umgebenden Galaxien beschäftigt. Obwohl sich die charakteristischen Größen des Schwarzen Lochs und der Galaxie um neun Größenordnungen un-

terscheiden, lässt sich die Masse des Schwarzen Loches mit 30 bis 50 Prozent Genauigkeit aus der stellaren Gesamtmasse der umgebenden Galaxie vorhersagen. Wie diese spektakuläre Massenkorellation zwischen den zentralen Schwarzen Löchern und den Muttergalaxien zustande kommt, ist noch weitgehend unverstanden. Zu deren Etablierung konnte Nadine Neumayer in ihrer Diplomarbeit wichtige Aspekte beitragen. In ihrer anschließenden Doktorarbeit hat sie innovative, räumlich hochaufgelöste Beobachtungs- und Analysemethoden entwickelt und angewandt, um die Masse des Schwarzen Loches in der Galaxie Centaurus A hinreichend genau zu bestimmen. Diese aktive Galaxie schien die Massenkorellation erstaunlicherweise nicht zu erfüllen. Nadine Neumayer gelangen am VLT der Eso zBeobachtungen des Zentralgebietes von Centaurus A mit bis dahin unerreichter räumlicher Auflösung. Damit konnte sie die Dynamik im Zentralbereich ermitteln und die Masse des Schwarzen Loches neu bestimmen. Dieser neue Wert fügte sich nun in die bekannte Relation ein und bestätigte diese in beeindruckender Weise (siehe Jahresbericht 2006, Kap. II.7).

**Abb. V.3.1:** Die Preisträger der Otto-Hahn-Medaille: Nadine Neumayer (*unterste Reihe, 2. von rechts*) und Anders Johansen (*oberste Reihe, ganz rechts*). (Foto: N. Michalke)



*Anders Johansen* gelang es, mit Hilfe von Computersimulationen wesentliche Beiträge zu unserem Verständnis der frühen Phasen der Planetenentstehung zu liefern. Dieser Prozess beginnt mit dem Wachstum kleiner Staubpartikel in den turbulenten Gasscheiben um sehr junge Sterne. Kleine Staubkörner erhalten durch die Wechselwirkung mit dem Gas unterschiedliche Geschwindigkeiten, stoßen zusammen und bleiben durch Oberflächenkräfte aneinander haften. Dadurch wachsen die Teilchen bis zu einer Größe von etwa einem Meter an. Haben Objekte erst einmal eine Größe von einigen Kilometern erreicht, so können sich diese sogenannten Planetesimale mit ihrer Schwerkraft zusammenschließen und bis zu erdähnlichen Planeten und den Kernen von Gasplaneten anwachsen. Der Größenbereich zwischen meter- und kilometergroßen Körpern ist jedoch kritisch, weil hier weder Haftung noch Gravitation allein zum Wachstum ausreichen. Anders Johansen konnte in eindrucksvoller Weise demonstrieren, auf welche Weise eine Kombination von Turbulenz und Eigengravitation es den Gesteinsbrocken ermöglicht, diese Hürde zu überwinden. In aufwendigen Computersimulationen von magnetisch getriebener Turbulenz in den Scheiben um junge Sterne zeigt er, wie sich Schwärme metergroßer Gesteinsbrocken in Turbulenzzellen zu riesigen Gesteinswolken verdichten, die dann unter dem Einfluss der gemeinsamen Schwerkraft zu Kleinplaneten zusammenschließen. (Siehe Jahresbericht 2007, Kap. II.3)

---

#### **Ernst-Patzer-Preis für Frithjof Brauer, Dominik Riechers und Xiang-Xiang Xue**

Der Ernst-Patzer-Preis zur Förderung von Nachwuchswissenschaftlern finanziert sich aus der Wissenschaftlichen Ernst-Patzer-Stiftung, welche die Witwe des Philosophen und Kunstliebhabers Ernst Patzer eingerichtet hat. Diese Stiftung hat sich zum Ziel gesetzt, Wissenschaft und Forschung vornehmlich auf dem Gebiet der Astronomie finanziell zu fördern und zu unterstützen. Sie vergibt ihre Förderpreise an junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am MPIA. Ausgezeichnet werden die besten referierten Veröffentlichungen eines Nachwuchswissenschaftlers bzw. einer Nachwuchswissenschaftlerin während der Promotions- und/oder der Postdoc-Phase am MPIA. Die Begutachtung der eingereichten Vorschläge erfolgt durch ein eigens hierfür eingesetztes Auswahlgremium, das sich aus zwei Wissenschaftler/innen des MPIA sowie einem externen Wissenschaftler zusammensetzt. Die drei Laureaten des Jahres 2008 erhielten jeweils 2000 Euro.

*Frithjof Brauer* erhielt den Preis für seine Arbeit »Coagulation, fragmentation and radial motion of solid particles in protoplanetary disks« (Brauer et al. 2008, *Astronomy & Astrophysics* 480, 859). Die Publikation stellt einen Durchbruch in der numerischen Behandlung des Wachstums von Staubkörnern in protoplanetaren

Scheiben dar. Sie vermittelt einen verständlichen Einblick in die physikalischen Prozesse, die das Wachstum von Staubkörnern dominieren. Hierbei werden Koagulation, Fragmentation und radiale Diffusion der Teilchen berücksichtigt.

Um die zeitliche Entwicklung von Staubkörnern in einer Akkretionsscheibe um einen sonnenartigen jungen Stern über Millionen von Jahren hinweg auf dem Computer zu simulieren, hat Brauer zwei wesentliche Algorithmen in den Computercode eingebaut, den zwei MPIA-Mitarbeiter entwickelt hatten: zum einen eine Zeit-implizite Behandlung der Wachstumsgleichungen und zum anderen eine elegante Reduzierung des zweidimensionalen Problems auf ein radiales und ein vertikales Problem. Dadurch verringern sich die Anzahl der notwendigen Gitterpunkte und der notwendige Zeitaufwand zur Lösung der Gleichungen erheblich.

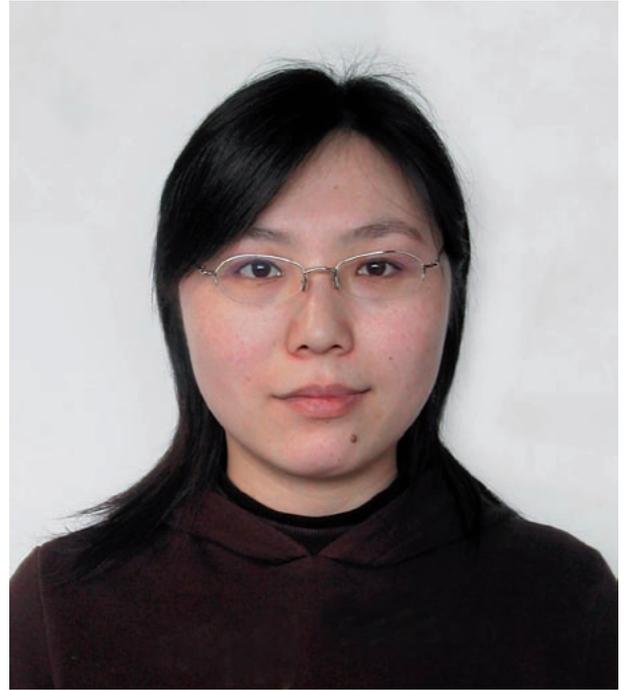
Die Computersimulationen zeigen, dass die radiale Drift und die Fragmentation das Wachstum der Staubkörner über den Millimeterbereich hinaus behindern. Nach etwa einer Million Jahren landen fast alle Staubkörner im inneren Bereich der Scheibe nahe am Stern, wo sie dann wegen der hohen Temperatur verdampfen. Das steht im Widerspruch zu Beobachtung, bei denen Staubkörner dieser Größe im äußeren Bereich der Scheibe nachgewiesen wurden.

Brauers Arbeit eröffnet neue Möglichkeiten im Verständnis der Bildung von Staubkörnern und damit auch von Planetesimalen in protoplanetaren Scheiben um junge Sterne. Diese Arbeit fand bereits ein reges Interesse in Fachkreisen und eignet sich auch sehr gut als Einstiegsarbeit für Studenten.

*Dominik Riechers* wurde für seine Arbeit »Formation of a quasar host galaxy through a wet merger 1.4 billion years after the big bang« (Riechers et al. 2008, *The Astrophysical Journal Letters* 686, L9) ausgezeichnet.

Dominik Riechers' räumlich hochauflösende Beobachtungen molekularen Kohlenmonoxids in einem Quasar bei einer Rotverschiebung von  $z = 4.41$  stellen einen qualitativ und quantitativ wichtigen Schritt zum generellen Verständnis der Galaxienentwicklung dar. Die mit dem Very Large Array erzielte Winkelauflösung von 0.15 Bogensekunden entspricht bei der gegebenen Distanz einer linearen räumlichen Auflösung von 1 kpc. Damit wurde im frühen Universum (1.4 Milliarden Jahre nach dem Urknall) eine räumliche Auflösung erzielt, wie man sie sonst üblicherweise nur in nahen Galaxien erreicht. Die spektral aufgelösten Daten erlauben es, die Gasverteilung sowohl räumlich als auch dynamisch zu studieren.

Das molekulare Gas mit einer Masse von knapp  $10^{11}$  Sonnenmassen ist in diesem Quasar über mehr als 5 kpc verteilt, wobei die Kinematik einen Geschwindigkeitsgradienten ungefähr in nord-südlicher Richtung aufweist. Diese kinematische Struktur lässt sich nicht mit einer gravitativ gebundenen Scheibe, sondern eher mit einem Model verschmelzender Galaxien erklären. Zu-



**Abb. V.3.2:** Zwei Gewinner des Ernst-Patzer-Preises: Dominik Riechers und Xiang-Xiang Xue.

sammenstöße gasreicher Galaxien («wet merger») können sowohl dem zentralen Schwarzen Loch Materie zuführen und die Quasar-Aktivität erklären als auch das nötige Gasreservoir für den zentralen Ausbruch massereicher Sternentstehung dieser Galaxie liefern. Die Beobachtungen liefern einen direkten Beweis dafür, dass solche Verschmelzungsprozesse mit der Quasar-Aktivität verbunden sind.

Kosmologische Modelle sagen für hohe Rotverschiebungen (also für das junge Universum) eine sehr viel höhere Galaxienverschmelzungsrate voraus als für das lokale Universum. Dementsprechend implizieren Dominik Riechers Beobachtungen, dass solch gasreiche Verschmelzungsprozesse in der Tat eine wichtige Rolle bei der Entstehung und Entwicklung von Galaxien spielen.

Riechers' Arbeit ist beobachtungstechnisch von sehr hoher Qualität. Gleichzeitig sind die daraus folgenden Interpretationen wichtige Bausteine für unser Verständnis von Quasar-Aktivität, Ausbrüchen massereicher Sternentstehung und der Galaxienentwicklung im frühen Universum.

*Xiang-Xiang Xue* erhielt den Patzer-Preis für ihre Arbeit »The Milky Way's circular velocity curve to 60 kpc and an estimate of the dark matter halo mass from the kinematics of 2400 SDSS blue horizontal-branch stars« (Xue et al. 2008, *Astrophysical Journal* 684, 1143).

In ihrer Arbeit bestimmt Xiang-Xiang Xue die Masse (inklusive der Dunklen Materie) der Milchstraße mit höchstmöglicher Genauigkeit. Hierfür verwendete sie neue Sternspektren bis zu einem Abstand von 60 kpc. Diese genaue Messung wurde möglich durch die neuen Daten des erweiterten Sloan Digital Sky Surveys (SDSS II), die insbesondere die Anzahl der spektroskopisch untersuchten Objekte deutlich erhöht hat (siehe Kap. II.5).

Für die Analyse mussten in der gesamten SDSS-Katalog blaue alte Sterne im Halo der Milchstraße identifiziert werden, die sich durch eine besondere Lage in Farbdiagrammen und durch ihre spektralen Linienprofile auszeichnen. Hierbei mussten Verfahren eingesetzt werden, um Fehlidentifikationen auszuschließen. Aus der Entfernungs- und Geschwindigkeitsverteilung dieser Sterne konnte Xiang-Xiang Xue die Rotationsgeschwindigkeit und damit die eingeschlossene Masse der Milchstraße bestimmen. Die Genauigkeit war um einen Faktor 3 besser als bei allen bisherigen Studien dieser Art. Das Ergebnis war etwas überraschend: Die Gesamtmasse der Milchstraße rangiert am unteren Ende des bislang ermittelten Wertebereichs. Neben dieser Messung wurde das Ergebnis noch mit Modellvorhersagen verglichen und die Aussagekraft der Messpunkte untersucht.

Die Arbeit zeichnet sich insbesondere durch ihre Sorgfalt bei der Konstruktion der verwendeten Datenpunkte sowie die weitgehende Analyse unter Einbeziehung kosmologischer Modelle aus. Die Darstellung ist klar und methodisch. Das Ergebnis, insbesondere die Verringerung der Messfehler, ist von großer Bedeutung für Modelle zur Entstehung unserer eigenen Galaxis.

### Reimar-Lüst-Stipendium der Max-Planck-Gesellschaft für Frithjof Brauer

Die Max-Planck-Gesellschaft konnte im Jahre 1983 aus Spendenmitteln der Industrie eine Stiftung zur Förderung junger Wissenschaftler einrichten, aus deren Erträgen das Reimar-Lüst-Stipendium vergeben wird. Als Stipendiaten kommen Nachwuchswissenschaftlerinnen oder Nachwuchswissenschaftler in Betracht, die als Doktoranden oder Postdocs aufgrund ihrer Leistungen besondere Förderung verdienen. Das Stipendium wird für die Dauer von zwei Jahren vergeben. Es ist mit bis zu 1840 Euro monatlich dotiert und erhöht sich gegebenenfalls um einen Verheirateten- und einen Sachkostenzuschuss. Im Jahr 2008 erhielt Frithjof Brauer ein solches Stipendium.

Frithjof Brauer beschäftigt sich am MPIA mit der numerischen Behandlung des Wachstums von Staubkörnern in protoplanetaren Scheiben. Er hat zwei wesentliche Algorithmen in den Computercode eingebaut, den zwei MPIA-Mitarbeiter entwickelt hatten. Dadurch verringern sich die Anzahl der notwendigen Gitterpunkte und der notwendige Zeitaufwand zur Lösung der Gleichungen erheblich (Näheres dazu siehe den vorherigen Abschnitt über den Ernst-Patzer-Preis).



**Abb. V.3.3:** Frithjof Brauer erhielt den Ernst-Patzer-Preis und ein Reimar-Lüst-Stipendium der Max-Planck-Gesellschaft.

## V.4 Eine Brücke aus der aktiven Forschung in die Schulen

### Ein Gespräch mit Klaus Tschira über das Haus der Astronomie

Am 10. Dezember 2008 wurde in den Räumen der Klaus Tschira Stiftung im Rahmen einer Pressekonferenz offiziell die Gründung des »Haus der Astronomie« bekannt gegeben, in dem Erkenntnisse der Forschung unmittelbar und professionell an die Allgemeinheit und insbesondere an Lehrer und Schüler weitergegeben werden sollen. Damit wurde diese in Deutschland einzigartige Institution innerhalb von weniger als zwei Jahren nach der ersten Konzeption offiziell auf den Weg gebracht. Die Stiftung wird die Kosten für die Errichtung des Gebäudes auf dem Gelände des MPIA sowie dessen technische Ersteinrichtung übernehmen. Die Max-Planck-Gesellschaft wird die Einrichtung betreiben, wobei sich die Stadt Heidelberg, das Land Baden-Württemberg, die Universität Heidelberg und die Klaus Tschira Stiftung an den Personalkosten beteiligen. Im folgenden Gespräch kommentiert Klaus Tschira den Werdegang dieses Projekts.

**Abb. V.4.1:** Klaus Tschira bei seiner Rede auf der Pressekonferenz zum Haus der Astronomie. Im Hintergrund eine Konstruktionszeichnung des neuen Bauwerks.

*Frage:* Die Klaus Tschira Stiftung hat ihren Sitz in der Villa Bosch, dem ehemaligen Wohnsitz des Chemikers und Industriellen Carl Bosch, der sich auch leidenschaftlich für die Astronomie interessierte. Hat Sie das zu Ihrem Engagement für die Astronomie motiviert?

**Klaus Tschira:** Diese Tradition führt die Stiftung gerne fort. Ich selbst habe als Schüler Astronomie zum Hobby gehabt

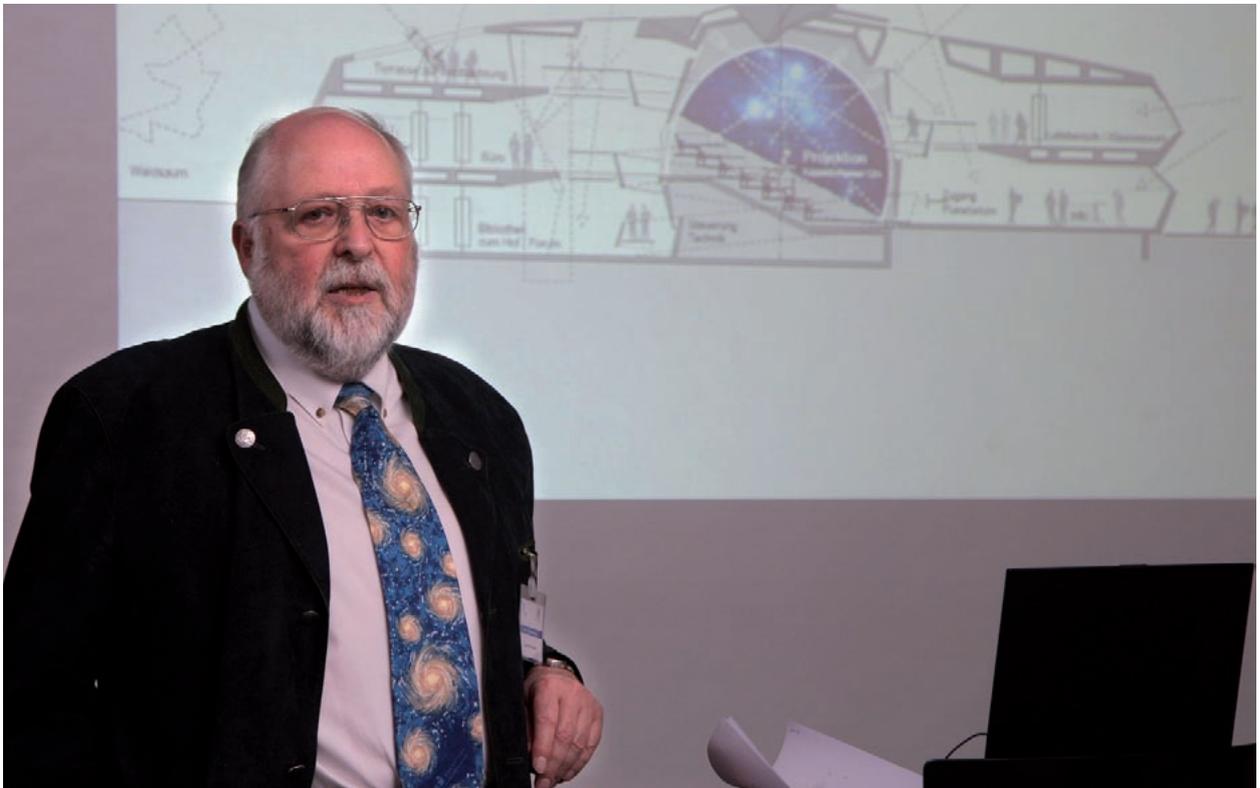
*Hatten Sie auch ein eigenes Fernrohr?*

**KT:** Nein, ich war immer Theoretiker.

*Wie kam Ihre Verbindung zum MPIA zustande?*

**KT:** Im Jahr 2003 berief mich das Institut in das damals neu gegründete Kuratorium. Ich war ja unter den Astronomen schon bekannt wegen meines Engagements für die Weltraummission DIVA.

*Zur ersten finanziellen Förderung von MPIA-Aktivitäten durch die Klaus Tschira Stiftung kam es im Jahr 2004 im Rahmen des Projekts »Wissenschaft in die Schulen!« der Zeitschrift »Sterne und Weltraum«.*



**KT:** Ich erinnere mich, dass Jakob Staude damals einen Didaktiker der Physik und Astronomie engagieren wollte, der astronomische Themen aus der Zeitschrift didaktisch aufarbeitet und Lehrern zur Verfügung stellt. Mir hat die Idee gut gefallen, so dass ich mich entschloss, diese Stelle zu finanzieren. Übrigens will ich hier noch anmerken, dass wir in dieser Hinsicht an eine alte Tradition aus der DDR angeknüpft haben. Dort war nämlich Astronomie ein reguläres Unterrichtsfach.

*Das heißt, Sie fördern sowohl Forschungs- als auch schuldidaktische Projekte. Nach welchen Kriterien entscheiden Sie, was Sie für förderungswürdig halten und was nicht?*

**KT:** Ich fördere das, was mir interessant erscheint. Was die schulische Ausbildung anbelangt, so ich bin der Meinung, dass die Jugendlichen viel zu spät, nämlich erst in der problematischen Phase der Pubertät, ernsthaft mit den Naturwissenschaften, insbesondere mit der Physik, in Verbindung kommen. Man muss die Neugierde viel früher wecken. Wir machen mit diesen Projekten auch Verantwortliche im Kultusministerium auf unser

**Abb. V.4.2:** Hauptverantwortliche vor Computerzeichnungen des Hauses der Astronomie. V.l.n.r.: Klaus Tschira, Manfred Bernhardt (Architekt), Herbert Jäckle (Vizepräsident der Max-Planck-Gesellschaft), Thomas Henning (Direktor am MPIA).

Anliegen aufmerksam und hoffen, auf diese Weise vielleicht Einfluss auf Lehrpläne nehmen zu können. Aber ganz generell ist es natürlich so, dass die Beschäftigung mit der Astronomie die große Chance bietet, insbesondere junge Menschen für die Naturwissenschaften zu begeistern. Mit dem »Haus der Astronomie« wollen wir eine kurze, tragfähige und lebendige Brücke aus der aktiven Forschung in die Schulen bauen.

*Mit dem Projekt »Wissenschaft in die Schulen!« wurde damit bereits begonnen. Mittlerweile hat die Landesakademie für Fortbildung und Personalentwicklung an Schulen in Baden-Württemberg dieses Konzept mit Förderung der Klaus Tschira Stiftung und in Zusammenarbeit mit dem Verlag »Spektrum der Wissenschaft«, wo auch »Sterne und Weltraum« verlegt wird, auf die Fächer Biologie und Chemie ausgedehnt. Doch lassen Sie uns nun auf das aktuelle Thema zu sprechen kommen, das »Haus der Astronomie«. Ihre Stiftung wird die Kosten für den Bau und seine technische Erstausrüstung übernehmen. Inwiefern haben Sie an der Gestaltung des Gebäudes mitgewirkt?*

**KT:** Als mir Hans-Walter Rix den Antrag zeigte, bestand das »Haus der Astronomie« aus einem Raumprogramm und einem quaderförmigen Gebäude drumherum. Mir war diese Zigarrenkiste aber zu langweilig. Ich habe ein Faible dafür, Gebäude zu bauen, denen man von außen ihre spätere Funktion ansieht.



*Haben Sie dieses Faible bereits in früheren Projekten umgesetzt?*

**KT:** Beim Advanced Training Centre des European Molecular Biology Laboratory haben wir uns von der Struktur des DNA-Moleküls, das die Erbinformation allen Lebens trägt, inspirieren lassen. Das Gebäude wurde deshalb in Form einer Doppelhelix konstruiert.

Und woran dachten Sie beim »Haus der Astronomie«?

**KT:** Als Erstes dachten der Architekt Manfred Bernhardt und ich an den Saturn. Das Gebäude hätte in der Mitte einen Kuppelraum besessen, den man als Vortragsraum hätte nutzen können. Dann haben wir weiter darüber diskutiert und kamen schließlich auf die Form einer Balkenspiralgalaxie. Diese besitzt auch eine kuppelförmige Ausbuchtung in der Mitte, und in die Spiralarms der Galaxie konnten dann die Arbeitsräume integriert werden. Das Ganze sieht also aus wie eine halbe Galaxie, eher wie ein Spiegelei. Der jetzige Grundriss ähnelt sehr stark der Form der Whirlpool-Galaxie M 51. Später können Sie dann bei Google Earth genau erkennen, dass dieses Gebäude der Astronomie gewidmet ist.

*Das Projekt ist nun endgültig auf den Weg gebracht. Verfolgen Sie dessen Fortgang weiter, und wollen Sie zukünftig noch Einfluss auf das Geschehen nehmen?*

**KT:** Ich hoffe, dass dort Veranstaltungen stattfinden werden, zu denen ich auch hin und wieder gehen werde. Aber in die inhaltliche Gestaltung werde ich mich nicht einmischen. Ich fühle mich da nicht wie ein Film-

produzent, der meint, er müsse auch die künstlerischen Inhalte mitbestimmen, wenn er das Unternehmen finanziell trägt.

*Hat die derzeitige Finanz- und Wirtschaftskrise Auswirkungen auf Ihre Stiftungsaktivität? Könnte sie den Bau des »Haus der Astronomie« eventuell verzögern oder sogar verhindern? ?*

**KT:** Zunächst einmal bleibt das Stiftungsvermögen möglichst unangetastet. Die Projektfinanzierung erfolgt ausschließlich aus der Rendite. Ich hoffe, dass die Finanzkrise meine Stiftung nicht wesentlich treffen wird, aber Genaues weiß ich darüber im Moment nicht. Ich habe aber schon immer die Politik verfolgt, dass ich für alle zugesagten Projekte das zugesagte Geld zurücklege. Das Haus der Astronomie wird auf jeden Fall zu Ende gebaut.

*Mit dem Bau des »Haus der Astronomie« haben Sie das Darmstädter Architekturbüro Bernhardt + Partner beauftragt, das auch bereits andere Bauvorhaben der Stiftung realisiert hat. Wie sieht dort der Zeitplan aus?*

**KT:** Das wird auch wesentlich davon abhängen, wie schnell die Baugenehmigung für diesen ungewöhnlichen Bau erteilt wird. Wir hoffen aber, dass wir noch in diesem Sommer mit dem Bau beginnen können, und dass bis Ende 2011 die Mannschaft einziehen kann.

*Das Interview führten  
Jakob Staude und Thomas Bührke*

#### **Klaus Tschira**

Der 1940 in Freiburg geborene Klaus Tschira studierte Physik an der Technischen Hochschule Karlsruhe (heute Universität Karlsruhe) und arbeitete von 1966 bis 1972 als Systemberater bei IBM in Mannheim. 1972 gründet er in Weinheim zusammen mit vier Kollegen das Softwareunternehmen »Systemanalyse und Programmentwicklung«, das in der Folge und nach einem Standortwechsel nach Walldorf als SAP zum Weltmarktführer für Software zur Unternehmensführung aufstieg. Von 1998 bis 2007 war Klaus Tschira Mitglied des SAP-Aufsichtsrats.

1995 rief er die Klaus Tschira Stiftung ins Leben, mit dem Ziel, die Naturwissenschaften, die Informatik und die Mathematik zu fördern und auch das Interesse der Öffentlichkeit für diese Fächer zu wecken. Stiftungssitz ist die Villa Bosch in Heidelberg, der ehemalige Wohnsitz von Carl Bosch, dem Nobelpreisträger für Chemie. 1997 gründete Tschira das European Media Laboratory, ein Institut für angewandte Informatik. Unter Astronomen machte er sich vor allem als Förderer des geplanten Astrometriesaatelliten DIVA einen Namen.

Seit 2001 veranstaltet die Klaus Tschira Stiftung Fortbildungskurse für Naturwissenschaftler. Sie sollen die Kommunikationskompetenz von Wissenschaftlern stärken. In diesem Zusammenhang steht auch der Klaus Tschira Preis für verständliche Wissenschaft. Die Förderung der Kinder und Jugendlichen beginnt im Kindergartenalter und drückt sich unter anderem in dem 2009 gegründeten Klaus Tschira Kompetenzzentrum für frühe naturwissenschaftliche Förderung, dem Jugendsoftwarepreis und den jährlich stattfindenden naturwissenschaftlichen Aktionstagen »Explore Science« aus.

Klaus Tschira erhielt eine Reihe von Auszeichnungen, darunter die Ehrensensorenwürde der Universitäten Heidelberg, Mannheim und Karlsruhe sowie der Pädagogischen Hochschule Heidelberg, den Ehrendokortitel der Universität Klagenfurt und das Bundesverdienstkreuz am Bande. Als Dank für seine Unterstützung für DIVA wurde der Asteroid mit der Nummer 13028 nach ihm benannt.

## V.5 Astrobiologie ist das größte intellektuelle Abenteuer der heutigen Zeit

### Ein Gespräch mit Rolf Kudritzki, dem neuen Vorsitzenden des Fachbeirats

**Rolf Kudritzki ist ein erfahrener und international renommierter Astrophysiker, seit neun Jahren leitet er das Institute for Astronomy der Universität in Hawaii. Das MPIA ist ihm seit vielen Jahren vertraut: Schon zwei Mal war er mit einer Unterbrechung Mitglied des Fachbeirats, jetzt wurde er zum Vorsitzenden dieses wichtigen Gremiums berufen. In dem folgenden Gespräch äußert er sich zu seiner neuen Aufgabe im Fachbeirat, liefert eine Einschätzung des MPIA im nationalen und internationalen Kontext und vergleicht die Arbeitsbedingungen der Astronomen in den USA und in Deutschland.**

*Frage: Wie sehen Sie die Aufgabe des Fachbeirats?*

**RK:** Eine Begutachtung und kritische Betrachtung der MPIs halte ich für sehr wichtig. Andernfalls hätte ich den Ruf in dieses Gremium auch nicht angenommen. In jedem Institut besteht die Gefahr, dass die Mitarbeiter betriebsblind werden: Wenn es nicht auf Veränderungen im aktuellen Forschungstrend reagiert, kann es sehr schnell in eine Krise geraten. Es kommt ja immer wieder vor, dass einem MPI oder zumindest einer Abteilung die Schließung droht.

*Nach welchen Kriterien begutachten Sie ein Institut? Geht es vornehmlich um die Zahl der Veröffentlichungen?*

**RK:** Die Anzahl und mehr noch die Qualität der Veröffentlichungen ist natürlich ein Kriterium. Für mich persönlich spielt aber eine größere Rolle, ob die Atmosphäre unter den Mitarbeitern wissenschaftlich stimulierend und kreativ ist oder nicht.

*Und wie empfinden Sie die Atmosphäre im MPIA?*

**RK:** Ausgesprochen gut, sehr kollegial vor allem. Ich treffe dort immer auf so viele sehr begabte und hoch motivierte junge Leute, dass es eine Freude ist. Ich kenne das MPIA ja schon sehr lange und muss sagen, dass es in den letzten Jahren ein völlig neues Gesicht bekommen hat. Es herrscht eine intensive Arbeitsatmosphäre. Es ist richtig erfrischend, mit den Mitarbeitern zu reden. Das haben auch andere Fachbeiratsmitglieder so empfunden, weswegen wir dem MPIA im letzten Gutachten ein geradezu enthusiastisches Lob ausgesprochen haben.

*Worin sehen Sie die Ursache dieses positiven Wandels?*

**RK:** Ich denke, es sind vor allem zwei Gründe. Erstens hat die gesamte Heidelberger Astronomie durch den Zu-

sammenschluss der Institute zum Zentrum für Astronomie Heidelberg einen enormen Aufschwung erhalten. Früher bildeten München und Garching zusammen das größte astronomische Zentrum in Deutschland, heute gehört Heidelberg mit dazu. Davon profitieren alle Heidelberger Institute, auch das MPIA. Und zweitens ist es den beiden Direktoren gelungen, das MPIA stärker international auszurichten. Erstklassige Forschung lässt sich nicht mehr im nationalen Rahmen betreiben. Auch die Graduate Schools sind eine sehr wichtige Einrichtung. Nachdem ich 18 Jahre lang in München gearbeitet und sehr gute Erinnerungen an die dortigen Kollegen habe, lacht nun doch auch das Herz aus der Ferne, wenn ich nach Heidelberg schaue.

*Sie haben die erfrischende, kollegiale Atmosphäre im MPIA angesprochen. Können Sie das mit Ihrer Situation an der Universität in Hawaii vergleichen?*

**RK:** Die Verhältnisse sind dort ganz anders. Alle Mitglieder unterliegen einem stärkeren Konkurrenzdruck als an einem MPI, weil jeder auf Drittmittel angewiesen ist und immer erfolgreich sein muss. Ich werde zum

**Abb. V.5.1:** Rolf Kudritzki, der neue Vorsitzende des Fachbeirats des MPIA. (Bild: Th. Bürke)



Beispiel jedes Jahr daraufhin überprüft, ob ich meine Direktorenstelle noch in ausreichendem Maße ausfülle. Ich muss einen Bericht schreiben, und der Kanzler der Universität befragt meine Kollegen über meine Leistung. Und, was auch sehr wichtig ist: Eine solche Beurteilung kann sehr hart sein. Meine Professorenstelle an der Uni ist mir zwar sicher, aber den Direktorenposten kann ich im Prinzip von einem Jahr aufs andere verlieren. Ich finde diese Leistungsüberprüfung durchaus gut und richtig, aber natürlich können in einer solchen Situation aus Kollegen schnell Konkurrenten werden. Der Job des Direktors ist es, in dieser Situation die kollegiale Atmosphäre und gleichzeitig auch das hohe wissenschaftliche Niveau zu erhalten.

*Auch Ihre Qualität als Dozent wird ständig bewertet. Ist dieser Aspekt denn so wichtig?*

**RK:** Oh ja. Wer in den USA keine guten Vorlesungen hält, wird in diesen Tagen nie eine Topstelle an einer Uni bekommen. Das ist wirklich anders als in Deutschland. Ich finde das auch richtig. Oft wird gesagt, dass manche Astronomen oder Physiker einfach nicht die Gabe haben, gute Vorlesungen halten zu können. Ich glaube das nicht. Wenn sich jemand wirklich Mühe gibt, dann kann er den Stoff auch rüberbringen. Wir achten schon bei unseren Doktoranden darauf, dass sie ihre Forschungsergebnisse klar und verständlich darstellen. Ich halte die Qualität der Lehre an amerikanischen Universitäten auch für wesentlich besser als an deutschen. Ich halte es übrigens auch für ein grundsätzlich falsches Konzept, dass Mitarbeiter eines MPIs überhaupt keine Vorlesungen zu halten brauchen. Gerade diese ausgezeichneten Forscher müssten doch für die Studenten da sein. Und wie die erstklas-

sigen Universitäten in den USA zeigen, ist es ja auch nicht so, dass gute Leistungen in der Lehre hinderlich für erstklassige Forschung sind. Andererseits muss man natürlich zugeben, dass die MPG als reine Forschungseinrichtung exzellent funktioniert, weshalb ich verstehen kann, dass man dieses »gut geölte« System wohl besser nicht verändern möchte

*Kommen wir noch einmal auf Ihre Funktion als Vorsitzender des Fachbeirats zurück. Sie verfolgen die Entwicklung des MPIA schon seit Jahrzehnten und kennen die Direktoren und viele Mitarbeiter ebenfalls schon sehr lange. Ist da noch eine wirklich kritische und notfalls auch negative Kritik möglich?*

**RK:** Das muss sie sein. Ein Gefälligkeitsgutachten hilft niemandem. Es muss unter Kollegen möglich sein, auch auf Schwächen hinzuweisen. Die Fachbeiräte der MPIs sind alle hochkarätig besetzt, und im Grunde kennen sich alle untereinander. Astronomen bilden schon so etwas wie eine globale Familie. Aber gerade deshalb will man dem anderen auch helfen, wenn es nötig ist. Und das geht nun einmal am besten mit konstruktiver Kritik.

*Sie haben gesagt, dass sich Institute stets neuen Forschungsrichtungen anpassen müssen. Wenn Sie dem MPIA einen Rat geben würde, welche Richtung es zukünftig verstärken sollte, was würden Sie dann empfehlen?*

**RK:** Auf der Suche nach einer langfristigen Ausrichtung würde ich mir zuallererst einmal anschauen, in welchen Bereichen die Teleskope der kommenden Generation ihre Stärken haben werden. Sowohl beim James Webb

#### Rolf Kudritzki

Der 1945 geborene Rolf Kudritzki studierte Physik an der Technischen Universität Berlin und erhielt dort 1971 sein Diplom. Anschließend übernahm er eine Stelle als wissenschaftlicher Assistent am dortigen Institut für Astronomie und Astrophysik, wo er 1973 promovierte. Danach wechselte er ans Institut für Theoretische Physik und Sternwarte der Universität Kiel, wo er sich 1979 habilitierte. In dieser Zeit beschäftigte er sich mit dem Strahlungstransport in den Atmosphären heißer Sterne. Insbesondere die Berücksichtigung von Nicht-Gleichgewichtszuständen in den von ihm entwickelten Atmosphärenmodellen brachte einen Durchbruch in der quantitativen Analyse von Sternspektren.

1982 erhielt er eine Professur an der Universität München und wurde Direktor des Instituts für Astronomie und Astrophysik, das er ausbaute und erheblich stärkte. Zu seinen größten und erfolgreichsten Aufgaben zählt er selbst die Kollaboration mit der Landessternwarte

Heidelberg und der Universität Göttingen beim Bau des Multiobjekt-Spektrografen FORS, eines der ersten Instrumente des Very Large Telescope der Eso.

1999 wurde er Dekan der Fakultät für Physik, doch schon im folgenden Jahr nahm er einen Ruf als Direktor des Instituts für Astronomie der Universität in Hawaii an. Diese Position hat er bis heute inne. Die dortigen Forschungsmöglichkeiten sind nahezu ideal: Sein Institut bekommt garantiert 10 bis 15 Prozent der Beobachtungszeit an allen Teleskopen des Mauna-Kea-Observatoriums. Das Seeing dort in 4200 Meter Höhe ist das beste der Welt.

Er ist Mitglied zahlreicher Gesellschaften, wie der Astronomischen Gesellschaft, der International Astronomical Union und der MPG. Im Jahre 2009 verlieh die Astronomische Gesellschaft Rolf Kudritzki ihre höchste Auszeichnung, die Karl Schwarzschild Medaille.

Mehr über Rolf Kudritzki und seine Forschung:  
[www.ifa.hawaii.edu/users/kud](http://www.ifa.hawaii.edu/users/kud).

Space Telescope als auch bei den 30- bis 40-Meter-Teleskopen wird die Infrarotastronomie mit den Schwerpunkten protoplanetare Scheiben und Exoplaneten sowie frühe Entwicklung der Galaxien im Vordergrund stehen. Genau auf diese beiden Bereiche ist das MPIA bereits bestens vorbereitet.

*Also ist das MPIA ohne Veränderungen gut für die Zukunft gerüstet?*

**RK:** Ich bin fest davon überzeugt, dass in absehbarer Zukunft ein weiterer Forschungszweig stark an Bedeutung gewinnen wird: die Astrobiologie. Sie wird meiner Meinung nach die größte Herausforderung der astronomischen Forschung sein, und sie wird weiter tragen als die Kosmologie. Für mich ist es das größte intellektuelle Abenteuer der heutigen Zeit, die gesamte astrobiologische Evolution zu verstehen. Wie konnten sich aus einer Quantenfluktuation und einem heißen, strukturlosen Ur-gas Sterne, Planeten und schließlich auch Makromoleküle wie die DNA und somit auch Leben entwickeln? Wir sind jetzt erstmals auf dem Weg, diese Kette zu verstehen.

*Die Astronomen können mit neuen Teleskopen nur einen Teil zur Beantwortung dieser großen Fragen beitragen. Letztlich wäre ein interdisziplinärer Ansatz zusammen mit Biologen und Chemikern nötig. Ließe sich das nicht an einem MPI für Astronomie schwer realisieren?*

**RK:** Das ist natürlich nicht ganz einfach. Die Interdisziplinarität kann sehr schnell dazu führen, dass Biologen und Chemiker zwischen allen Stühlen sitzen und sich unter den Astrophysikern isoliert fühlen. Sie müssten deshalb in die Universität eingebunden sein. Allein schon, um Ansprech- und Diskussionspartner zu haben. An unserer Universität bauen wir ein solches Institut mit ungefähr 30 Mitarbeitern gerade auf. Das ist eine große Aufgabe. Aber mit ehrgeizigen und cleveren Direktoren sollte das im MPIA möglich sein.

*Das Interview führte Thomas Bührke*

## Personal

**Direktoren:** Henning, Rix (Geschäftsführung)

**Wissenschaftlicher Koordinator:** Jäger

**Öffentlichkeitsarbeit:** Staude (Leitung)

**Verwaltung:** Voss (Leitung)

**Wissenschaftliche Mitarbeiter:** Afonso, Bailer-Jones, Bell, Bertram, Birkmann (bis 30.9.), Beuther, Bouwman, Brandner, Dannerbauer, De Bonis, De Jong, Dullemond, Dumas (ab 1.3.), Dziourkevich, Egner (bis 15.4.), Elias, Elting (bis 30.9.), Feldt, Fendt, Fried, Gallazzi, Gässler, Gouliermis, Graser, Gredel, Herbst, Hippelein (bis 30.9.), Hippler, Hofferbert, Inskip (ab 1.3.), Huisken, K. Jäger, Jahnke, Jester, Klaas, Klahr, Klement (ab 1.11.), Köhler, Krause, Kurk, Kürster, Launhardt, Lenzen, Linz (ab 1.8.), Marien, Matthews, Meisenheimer, Möller-Nilsson (ab 1.3.), Müller, F., Mundt, Nielbock, Pavlov, Peter (ab 1.8.), Röser, Sandor, Sargent, Scheithauer, Schinnerer, Schreiber, Semenov, Sicilia-Aguilar, Setiawan, Somerville (bis 19.3.), Smith, K., Staude, Stilz, Tapken, Tiede (bis 14.9.), Trowitzsch, Tsalmantza, van Boekel (ab 1.3.), van den Bosch, Walter

**Doktoranden:** Arold, Bergfors (ab 15.7.), Besel (ab 1.12.), Bicanski, Bigiel (bis 30.6.), Birkmann (bis 31.3.), Birnstiel, Bocchi (ab 21.11.), Boudreault (bis 19.11.), Brauer, Burtscher, Cacciato, Chen (bis 6.2.), Cisternas (ab 15.8.), Csak (ab 15.9.), Crnojevic, Da Rio, De Rosa (ab 1.11.), Dettenrieder, Downing, Ernst, Esquivel (bis 14.11.), Fallscheer, Fang, Federrath, Flock (ab 15.11.), Follert (ab 1.6.), Foltin (bis 30.4.), Foyle, Franco Rico, Gan, Geisler, Geißler, Gennaro (ab 1.10.), Haan (bis 30.9.), Heinzeller (bis 31.7.), Hennemann, Holmes (ab 1.8.), Hormuth, Janson (bis 30.4.), Juhsz, Karim (ab 1.9.), Klement (bis 31.10.), Koposov, Kuiper, Meyer, Mignone, More, Moster, Moyano, Müller, A. (ab 1.3.), Natale, Nicol, Nikolov, Nugrohu (ab 15.8.), Pedaletti, Peter (bis 31.7.), Pitann (ab 1.9.), Porth (ab 1.8.), Quetz, Robaina, Roccatagliata, Rochau, Ruhland, Rodriguez, Sauter (bis 31.3.), Schmalzl, Schmidt, K.B. (ab 22.9.), Schmidt, T., Schruba (ab 1.8.) Skelton, Steglich, Stegmaier (bis 30.9.), Stumpf, Sturm (ab 1.12.), Tam (bis 15.11.), Tamburro (bis 31.5.), Uribe (ab 15.9.), Valente (ab 1.11.), Vasyunin, Vasyunina, Vannoni (bis 8.5.), Wang, H., Weise Xue (bis 30.9.), Zatloukal (bis 20.10.), Zechmeister, Zsom, Zub

**Diplomanden und studentische Hilfskräfte (UH):** Aquino (bis 31.1.), Becker (bis 13.3.), Bestenlehner, Beyer (bis 30.6.), Conrad, Courtial (21.4. bis 31.7.), Daemgen (bis 30.11.), Flock (bis 18.9.), Forck (4.8. bis 2.10.), Hoffmann, Junginger (bis 14.3.), Kaplan (bis 31.3.), Lendl (ab 1.10.), Listowski (12.2. bis 31.7.), Müller A. (bis 31.1.), Pitann (bis 31.7.),

Schnupp (11.8. bis 20.9.), Schulze-Hartung (bis 31.10.), Sommerfeld (ab 1.2.), Stoev, ab 7.7. bis 12.9.), Vogt (1.6. bis 22.8.), Wahed (bis 31.1.), Waldmann (1.6. bis 31.8.)

**Diplomanden und Master-Studenten (FH):** Fischer, Keilbach (ab 1.9.), Pfannschmidt (ab 1.9.)

**Stipendiaten:** Bigiel (1.7. bis 31.10.), Bik, Blindert, Boudreault (ab 20.11.), Carson, Chen (7.2. bis 31.7.), Coleman (bis 31.3.), Dziourkevitch (bis 30.6.), Fan (ab 1.9.), Fedele (ab 1.8.), Fontanot, Gawryszczak (bis 28.2.), Goldmann, Goto, Greve, Gustafsson, Haan (ab 1.10.), Ilgner (1.5. bis 30.6.), Janson (1.5. bis 31.7.), Johansen (bis 31.1.), Kang, Kim (ab 1.9.), Labadie, Leroy, Linz (bis 31.7.), Macciò, Martin, Martinez Sansigre, Maulbetsch, Mordasini (ab 1.11.), Mosoni, Nilsson, Ormel (ab 1.11.), Pasetto, Pasquali, Pavlyuchenkov (bis 31.10.), Rodler (bis 30.4.), Sicilia Aguilar (bis 31.8.), Skibba, Tamburro (bis 30.9.), Thalmann (ab 1.7.), Tremonti (ab 15.9.), Tubbs (bis 15.1.), van Boekel (bis 15.1.), van der Wel (ab 15.9.), Wang Wei (ab 1.9.), Weldrake (bis 31.3.) Zatloukal (ab 22.10.), Zibetti Praktikanten und Auszubildende: Benesch (bis 29.2.), Euler (bis 29.2.), Finzer (bis 15.8.), Franke, Herbrandt (1.3. bis 31.8.), Lechner (ab 1.9.), Merx, Neidig, Schewtschenko (bis 18.1.), Törl (1.3. bis 31.8.), Wipfler (ab 1.9.), J. Zimmermann

**MPIA-Observatorien:** Gredel

**Technische Abteilungen:** Kürster

**Konstruktion:** Rohloff, Baumeister; Blümchen (ab 1.12.), Ebert, Huber, Münch, Schewtschenko (19.1. bis 26.3.); Auszubildende, Praktikanten, Wissenschaftliche Hilfskräfte: Schewtschenko (bis 18.1.)

**Feinwerktechnik:** Böhm, W. Sauer; Euler (ab 1.3.), Heitz, Hirt (bis 30.6.), Maurer, Meister, Meixner, Stadler; Auszubildende, Praktikanten, Wissenschaftliche Hilfskräfte: Ehret (ab 1.9.), Euler (bis 28.2.), Finzer (bis 15.8.), Franke, Merx, Neidig, Wipfler (ab 1.9.)

**Elektronik:** Wagner, Mohr; Adler, Alter, Ehret, Klein, Lehmitz, Mall, Mohr, Ramos, Ridinger, Westermann, Wrhel; Auszubildende, Praktikanten, Wissenschaftliche Hilfskräfte: Benesch (bis 28.2.) Herbrandt, (1.3. bis 31.8.), Keilbach (ab 1.9.), Pfannschmidt (ab 1.9.), Törl (1.3. bis 31.8.)

**Instrumentierungssoftware/Projekt-EDV:** Briegel, Storz; Berwein, Borelli, Kittmann (Gast Uni Köln), Leibold, Möller-Nilsson (ab 1.3.) Neumann, Pavlov, Trowitzsch; Auszubildende, Praktikanten, Wissenschaftliche Hilfskräfte: Fischer

**Instrumentierung und Projektabwicklung:** Marien, Bizenberger; Bertram (1.9.), Brix, De Bonis (Gast Univ. Köln), Egner (bis 15.4.), Gässler (ab 1.7.), Graser, Laun, Meschke, Naranjo, Peter (ab 1.8.)

#### **Administrativ-Technische Service-Abteilungen:**

**Verwaltung:** Voss, Apfel, Anders, Baier, Beckmann, Heißler, Hölscher, Schleich, S. Schmidt, Trenkler (bis 18.6.), Zähringer; Auszubildende: Lechner (ab 1.9.), J. Zimmermann

**EDV-Gruppe:** Richter, Piroth; Hiller, Studentische Hilfskraft: Bestenlehner

**Graphikabteilung:** Quetz, Meißner, Müllerthann

**Bibliothek:** Dueck

**Fotolabor:** Anders

**Sekretariate:** Bohm, Janssen-Bennynck, Koltés-Al-Zoubi, Seifert

**Technischer Dienst und Kantine:** Zergiebel, F. Witzel; Behnke, Drescher, Jung, Lang, Nauss, B. Witzel, E. Zimmermann

**Für das Institut tätige ehemalige Mitarbeiter:** Christoph Leinert, Dietrich Lemke

**Freier Mitarbeiter:** Thomas Bürhrke

**Wissenschaftliche Gäste:** Kerstin Meyer-Ross, TU Dresden, 17.–19. Jan.; Pierluigi Monaco, Univ. Trieste, 22.–25. Jan.; Nikoletta Sipos, Konkoly Univ., 28. Jan.–19. Feb.; Laura Schreiber, Univ. Bologna, 1. Feb.–31. Mai; Xianzhong Zheng, Purple Mountain Observatory, 2.–6. Feb.; Edwin Bergin, Univ. Michigan, 3.–9. Feb.; Gwendolyn Meeus, AIP Potsdam, 5.–8. Feb.; Willy Benz, Univ. Bern, 6.–7. Feb.; Tessel van der Laan, Kapteyn Inst. Groningen, 28.–29. Feb.; Victor Debahista, Univ. Lancashire, 28. Feb.–3. März; Angelle Tanner, JPL, 2.–15. März; Bram Acke, Univ. Leuven, 3.–6. März; Oskari Miettinen, 5.–14. März; Klaus-Peter Schröder, Univ. Guanajuato, 6.–7. März; Roman Follert, Thüringer LSW, 6. März; Wie Wang, Chin. Acad. Sci, Beijing, 11. März–9. Mai; Nikolai Voshchinnikov, St. Petersburg Univ., 13. März–10. Apr.; Andrey Zhilkin, Russ. Acad. Sci. Moscow, 16.–31. März; Daniel Schaerer, Obs. Genève, 17.–18. März; Olja Panic, Leiden Observatory, 30. März–4. Apr.; Nikoletta Sipos, Konkoly Observatory, 31. Mar–15. Apr.; Cristian Beaugé, Observatory of Cordoba, 5.–18. Apr.; Thorsten Ratzka, AIP Potsdam, 7.–11. Apr.; S. di Serego Alighieri, Oss. Astro. Arcetri, 7.–11. Apr.; Cuynet, Stéphane, Obs. Besançon, 7.–10. Apr.; Marco Spaans, Univ. Groningen, 8.–11. Apr.; Chris Ormel, Univ. Groningen, 8.–11. Apr.; Miguel Garcia Torres, Univ. La Laguna, 9.–11. Apr.; Clement Baruteau,

Service d'Astrophysique, 13.–15. Apr.; Balazs Csak, Univ. Szeged, 20.–22. Apr.; Christoph Mordasini, Univ. Bern, 22.–24. Apr.; Eric Murphy, CalTech, 4.–15. Mai; Sean Andrews, Harvard Univ., 4.–7. Mai; Luciano Casarini, Univ. Milano-Bicocca, 7. Mai.–6. Juni; Elena Puga, Univ. Madrid, 8.–24. Mai; Zsolt Regaly, Konkoly Obs., 13.–25. Mai; Kasper B. Schmidt, Copenhagen Univ., 14.–16. Mai; Jürgen Sauter, Univ. Kiel, 16.–25. Mai; Robin Garrod, MPIfR, Bonn; 19.–21. Mai; Baruch Barzel, Racah Inst. Tel-Aviv, 19.–23. Mai; Kleomenis Tsiganis, Univ. Thessaloniki, 20.–25. Mai; Kelsey Johnson, Univ. Virginia, 1.–4. Juni; Dustin Lang, Univ. Toronto; 3.–24. Juni; David Hogg, NY Univ., 3. Jun.–30. Aug.; Beate Stelzer, INAF, Palermo, 4.–5. Juni; René Plume, Univ. Calgary, 4. Jun.–15. Sep.; Mordecai-Mark Mac Low, American Mus. Nat. History, NY, 6. Jun.–22. Juli; James Rhoads, ASU, 9.–27. Juni; Sangeeta Malhotra, ASU, 9.–27. Juni; Dominik Riechers, CalTech, Jun 15.–18.; Vernesa Smolic, 15.–22. Juni; Gang Zhao, Purple Mountain Obs., 16.–20. Juni; Doug Looze, Univ. of Mass., 16.–20. Juni; Agnes Kospal, Leiden Obs., Jun 17.–21.; Peter Abraham, Konkoly Obs., 17.–24. Juni; Buell Januzzi, NOAO/Kitt Peak, 19.–23. Juni; Katherine Kretke, UCSC, 19.–29. Juni; David Wilner, CfA, 22.–25. Juni; David Weinberg, Ohio State Univ., 24.–25. Juni; Jürgen Ott, CalTech, 25.–27. Juni; Monika Petr-Gotzens, ESO Garching, 25.–27. Juni; Boris Häussler, Univ. Nottingham, 25.–30. Juni; Bram Acke, Univ. Leuven, 25. Jun.–25. Juli; Aaron Dutton, UC Santa Cruz, 25. Jun.–9. Juli; Zsuzsanna Gyory, Univ. Budapest, 29. Jun.–5. Juli; David Martinez-Delgado, IAC, 1. Jul.–3. Sep.; Arjen van der Wel, Johns Hopkins Univ., 7.–11. Juli; Paul Schechter, MIT, 7.–15. Juli; Alexander Bridi, UCL London, 7.–31. Juli; Ronin Wu, NY Univ., 7. Jul.–17. Aug.; Simone Weinmann, MPI Astrophysik, 14.–25. Juli; Christian Wolf, Univ. Oxford, Jul 14.–18.; Pucci, A., Univ. Heidelberg, 17.–18. Juli; Markus Klevenz, Univ. Heidelberg, 17.–18. Juli; Christy Tremonti, Steward Obs., 18. Jul.–14. Juli; Rachel Somerville, STScl, 21.–25. Juli; Agnes Kospal, Leiden Observatory, 21.–26. Juli; Doug Johnstone, Ntl. Res. Council Can., 23.–28. Juli; Eyal Neistein, Hebrew Univ., 24.–25. Juli; Peter Abraham, Konkoly Observatory, 21. Jul.–6. Aug.; Nikoletta Sipos, Konkoly Observatory, 21. Jul.–12. Aug.; Blair Conn, ESO Chile, 25. Jul.–1. Aug.; Stephanie Gogarten, Univ. Washington, 30. Jul.–20. Aug.; Julianne Dalcanton, Univ. Washington, 1.–30. Aug.; José Garcia, Dublin Inst., 6.–7. Aug.; Joe Shields, Ohio Univ., 6.–8. Aug.; Kenichi Nomoto, Univ. Tokyo, 17.–18. Aug.; Serge Chastel, CNES Toulouse, 18.–22. Aug.; Thorsten Ratzka, AIP, 18.–22. Aug.; Dick Durisen, 26. Aug.; Jürgen Sauter, Kiel Univ., 29. Aug.–Sep. 14; Mohsen Ramenzapoor, Sharif Univ., Iran, 1.–19. Sep.; Jacques Beckers, Univ. Chicago, 2.–6. Sep.; Shantanu Rastogi, Gorakhpur Univ, India, 5.–16. Sep.; Nikolai Voshchinnikov, St. Petersburg Univ., 8.–18. Sep.; David Bonfield, NASA, 8.–18. Sep.; Anupreet More, MPIfR, 11.–19. Sep.; Andreas Seifahrt, Univ. Göttingen, 18. Sep.; Yan-Mei Chen, MPA Garching, 8.–22. Okt.; Tigran Movsisyan, Byurakan Obs., 13. Okt.–17. Dez.; Hongchi

Wang, Purple Mountain Obs., 15. Okt. – 14. Dez.; Laura Schreiber, Univ. Bologna, 25. – 31. Okt.; Massimo Robberto, STScI, 3. – 6. Nov.; Linda Watson, Ohio Univ., Nov 3. – 14.; Carmelo Arcidiacono, INAF, 5. – 8. Nov.; Herma Cuppen, Leiden Obs., 10. – 12. Nov.; Paul Boley, Ural State Univ., 19 Nov. – 19. Dez.; Warrick Lawson, Univ. New South Wales, 21. Nov. – 13. Dez.; Eric Feigelson, Penn State Univ., 23. – 25. Nov.; Xiangxiang Xue, Purple Mountain Obs., 23. – 28. Nov.; Henry Lee, Gemini, La Serena, 24. Nov. – 3. Dez.; Carsten Dominik, Univ. Amsterdam, 27 Nov. – 4. Dez.; Wlad Lyra, Uppsala Astron. Obs., 1. – 12. Dez.; Subo Dong, Ohio State Univ., 3. – 6. Dez.; Daniel Harbeck, NOAO, 8. – 9. Dez.; Stefanie Phleps, MPE Garching, 8. – 11. Dez.; Andrea Stolte, Univ. Köln, 11. – 12. Dez.; Benjamin Hussmann, Univ. Köln, 11. – 12. Dez.; Markus Janson, Univ. Toronto, 15. – 18. Dez.; Dominik Riechers, CalTech, 20. – 23. Dez.

Durch die regelmäßig stattfindenden internationalen Treffen und Veranstaltungen am MPIA hielten sich weitere Gäste kurzfristig am Institut auf, die hier nicht im einzelnen aufgeführt sind.

## Observatorium Calar Alto / Almeria, Spanien

**Astronomie Koordination:** Thiele (Stellv. Leitung, ab 1.6.)

**Teleskoptechnik und EDV:** W. Müller

## Arbeitsgruppen

### Abteilung Stern- und Planetenentstehung

**Direktor:** Thomas Henning

**Infrarot-Weltraum-Astronomie:** Oliver Krause, Marc-André Besel, Stephan Birkmann, Thomas Blümchen, Jeroen Bouwman, Helmut Dannerbauer, Örs Hunor Detre, Ulrich Grözinger, Martin Hennemann, Ralph Hofferbert, Rory Holmes, Armin Huber, Serena Kim, Ulrich Klaas, Hendrik Linz, Friedrich Müller, Markus Nielbock, Jan Pitann, Silvia Scheithauer, Jürgen Schreiber, Jutta Stegmaier

**Sternentstehung:** Thomas Henning, Aurora Aguilar Sicilia, Adrianus Bik, Xuepeng Chen, Min Fang, Davide Fedele, Markus Feldt, Mario Gennaro, Dimtrios Gouliermis, Miwa Goto, Attila Juhász, Ralf Launhardt, Rainer Lenzen, Hendrik Linz, Owen Matthews, Laszlo Misoni, André Müller, Christiaan Ormel, Yaroslav Pavlyuchenkov, Diethard Peter, Veronica Roccataliata, Markus Schmalzl, Dmitri Semenov, Bernhard Sturm, Robert Tubbs, Roy van Boekel, Antonin Vasyunin, Tatiana Vasyunina, Wei Wang

**Braune Zwerge/Exoplaneten:** Reinhard Mundt, Carolina Bergfors, Wolfgang Brandner, Joseph Carson, Kerstin Geißler, Bertrand Goldmann, Felix Hormuth, Markus Janson, Viki Joergens, Boyke Rochau, Florian Rodler,

Victoria Rodriguez Ledesma, Johny Setiawan, Christian Thalmann, Patrick Weise, David Wel Drake

**Theorie (SP):** Hubertus Klahr, Andrej Bicanski, Frithjof Brauer, Frank Dettenrieder, Natalia Dziourkevitch, David Foltin, Artur Gawryszczak, Anders Johansen, Rolf Kuiper, Christoph Mordasini, Ana Uribe

**Laborastrophysik:** Friedrich Huisken, Marco Arold, Cornelia Jäger, Sergey Krasnokutskiy, Libo Ma, Gael Rouillé, Torsten Schmidt, Mathias Steglich

**Interferometriezentrum FRINGE:** Thomas Henning, Uwe Graser, Ralf Launhardt, Jürgen Steinacker

**Adaptive Optik:** Wolfgang Brandner, Nicola Da Rio, Joseph Carson, Fulvio De Bonis, Markus Feldt, Dimitrios Gouliermis, Stefan Hippler, Felix Hormuth, Micaela Stumpf, Christian Thalmann

**Emmy-Noether-Gruppe I** »Die Entstehung massereicher Sterne«: Henrik Beuther, Cassandra Fallscheer, Javier Rodon

**MPG – Nachwuchsgruppe:** Cornelis Dullemond, Tilmann Birnstiel, Mario Flock, Zsolt Sandor, Andras Zsom

**MPG – Minerva-Gruppe:** Cristina Afonso, Balasz Csak, Maximiliano Moyano, Nikolai Nikolov

### Abteilung Galaxien und Kosmologie

**Direktor:** Hans-Walter Rix

**Struktur und Dynamik von Galaxien:** Hans-Walter Rix, Josef Fried, Jelte De Jong, Matthews Coleman, Anna Pasquali, Nicolas Martin, Christy Tremonti, Stefano Zibetti, Kelly Foyle, Rainer Klement, Domenico Tamburro, Arjen van der Wel, Sergey Kuposov, Xiang-Xiang Xue; Kasper Borello Schmidt

**Sternpopulation und Sternentstehung:** Fabian Walter, Sebastian Jester, Thomas Greve, Adam Leroy, Frank Bigiel, Gisella de Rosa, Dominik Riechers, Andreas Schrub; Thomas Herbst, Wolfgang Gäbler, Maiken Gustafsson, Lucas Labadie, Fulvio de Bonis, Frank Kittmann, Johannes Schmidt

**Galaxienentwicklung und Kosmologie:** Klaus Meisenheimer, Hermann-Josef Röser, Hans Hippelein, Kim Nilsson, Irini Sakelliou, Kris Blindert, Leonard Burtscher, Isabel Franco, Hélène Nicol, Konrad Tristram, Michael Zatloukal

**Aktive Galaxienkerne:** Klaus Meisenheimer, Christian Fendt, Sebastian Jester, Marc Schartmann, Konrad Tristram; Xiaohui Fan (sabbatical)

**Theorie der Galaxienentstehung und großräumiger**

**Strukturen:** Rachel Somerville, Fabio Fontanot, Andrea Macciò, Christian Maulbetsch, Ben Moster, Hsiang-Hsu Wang; Christian Fendt (auch IMPRS-Koordinator), Oliver Porth und Bhargav Vaidya

**Instrumentierung:** Thomas Herbst, Hermann-Josef Röser, Josef Fried, Wolfgang Gäßler, Sebastian Egner, Maiken Gustafsson, Lucas Labadie, Roman Follert, Eva Meyer

**Emmy-Noether-Gruppe II**, »Sternpopulationen und Sternentstehung«: Coryn Bailer-Jones, Paraskevi Tsalmanza, Steve Boudreault

**Emmy-Noether-Gruppe III**, »Galaxienentwicklung und Kosmologie«: Eric Bell, Anna Gallazzi, Xianzhong Zheng, Aday Robaina, Christine Ruhland, Rosalind Skelton

**Emmy-Noether-Gruppe IV**, »Aktive Galaxienkerne«: Knud Jahnke, Katherine Inskip, Mauricio Cisternas, Dading Hadi Nugrohu

**MPG-Nachwuchsgruppe** »Entstehung von Galaxien und großräumigen Strukturen«: Frank van den Bosch, Marcello Cacciato, Xi Kang, Surhud More, Ramin Skibba, Jianling Gan

**MPG-Minerva-Gruppe** »Aktive Galaxienkerne«: Eva Schinnerer, Gael Dumas, Mark Sargent, Alejo Martinez Sansigre, Sebastian Haan, Alexander Karim

**GAIA-Projektgruppe:** Coryn Bailer-Jones, Christian Elting, Rainer Klement, Kester Smith, Carola Tiede

**Lehrveranstaltungen****Wintersemester 2007/2008**

E. Bell: Observing the Big Bang (Vorlesung)  
 Ch. Fendt: Current Research Topics in Astrophysics (IMPRS Block-Kurs, mit J. Wambsganß, ZAH)  
 Th. Henning: Physik der Sternentstehung (Oberseminar)  
 K. Meisenheimer: Quellen hochenergetischer Strahlung (Oberseminar, mit J. Kirk, MPIK und S. Wagner, ZAH)  
 K. Meisenheimer: Current Research Topics in Astrophysics (IMPRS Forschungsseminar, mit B. Fuchs und J. Wambsganß, ZAH)  
 K. Meisenheimer: Institutskolloquium von MPIA und LSW (mit M. Camenzind, ZAH)  
 H.-J. Röser: Einführung in die Astronomie und Astrophysik, III (Seminar, mit E. Grebel und J. Heidt, ZAH)  
 S. Wolf: Einführung in die Astronomie und Astrophysik I, mit Übungen (mit M. Camenzind, ZAH)

**Sommersemester 2008**

Coryn Bailer-Jones: Machine Learning, Pattern Recognition and Statistical Data Mining (Vorlesung)

E. Bell, H.-W. Rix: Galaxies (IMPRS Block-Kurs)  
 C. Dullemond, Ch. Fendt: Current Research Topics in Astrophysics (IMPRS Forschungsseminar, mit E. Grebel, ZAH)  
 Th. Henning: Physics of Star Formation (Oberseminar)  
 F. Huisken: Nanophysik II: Nanoteilchen (Vorlesung, FSU Jena)  
 K. Meisenheimer: Quellen hochenergetischer Strahlung (Oberseminar, mit S. Wagner, ZAH)  
 K. Meisenheimer: Institutskolloquium von MPIA und LSW (mit M. Camenzind, ZAH)  
 H.-W. Rix: Galaxies (IMPRS Block-Kurs, mit E. Bell)  
 H.-W. Rix: Physik II, Übungen

**Wintersemester 2008/2009**

E. Bell: Observing the Big Bang (Vorlesung)  
 Beuther, H., Ch. Fendt: Outflows and Jets: Theory and Observations  
 Ch. Fendt: Current Research Topics in Astrophysics (IMPRS Blockseminar, mit M. Camenzind, ZAH)  
 Ch. Fendt, K. Meisenheimer, H.-W. Rix: Current Research Topics in Astrophysics (IMPRS Oberseminar)  
 Th. Henning: Physics of Star Formation (Oberseminar)  
 K. Meisenheimer: Quellen hochenergetischer Strahlung (Oberseminar, mit J. Kirk, MPIK und S. Wagner, ZAH)  
 K. Meisenheimer: Institutskolloquium von MPIA und LSW (mit M. Camenzind, ZAH)

**Mitarbeit in Gremien**

Cristina Afonso: Mitglied des Science Consortium of the PLATO (PLANetary Transits and Oscillations of stars) Space Mission; Mitglied der Strategy Survey Working Group of Pan-STARRS1; Mitglied der Arbeitsgruppe Photometric Searches of Extra-solar Planets of the ARENA Network on Antarctica Research in Astronomy  
 Coryn Bailer-Jones: Mitglied des GAIA Data Processing and Analysis Consortium Executive; Leiter des Subconsortiums »Astrophysical Parameters« im GAIA Data Processing and Analysis Consortium (DPAC); Mitglied des Scientific Organizing Committee of Commission 45 (Stellar Classification) der IAU; Vorsitzender des SOC der internationalen Konferenz »Classification and Discovery in Large Astronomical Surveys«; UKIRT TAC Support  
 Eric Bell: Mitglied des TAC für SPITZER Cycle 4  
 Henrik Beuther: Mitglied des ESO OPC; Mitglied des TAC für APEX  
 Wolfgang Brandner: Mitglied des FP7 E-ELT Preparation Group (ESO); CoPI GRAVITY (2<sup>nd</sup> generation VLTI instrumentation); Mitglied des Science Team METIS (E-ELT Instrumentierung); CoPI bei AstraLux Sur (Gastinstrument für ESO/NTT); Mitglied des Calar Alto Scientific Advisory Committee; Mitglied des PhD Advisory Committee (PAC) am MPIA; Mitglied des

- IMPRS PhD Committee; Mitglied des Auswahlkomitees für das Heidelberger Astronomische Kolloquium
- Leonard Burtscher: Sprecher des PhDnet (Doktorandenvereinigung der MPG)
- Marcello Cacciato: Studentenvertreter im Patzer-Preis-Komitee und der IMPRS
- Cornelis Dullemond: Mitglied im PAC-Komitee
- Kelly Foyle: IMPRS-Vertreterin
- Wolfgang Gässler: Mitglied der IAU working group on optical Interferometry data standards; AO-Sprecher im LBT Board
- Roland Gredel: Mitglied der folgenden Komitees: Opticon board; MPIA STAC; Ice-T Review; ARENA NA2 (Site Characterization of Dome C, Vorsitz); ESE (ELT Science & Engineering Group); SSAC (ELT Site Selection Advisory Committee); ESO OPC (Vorsitz); Panel C3; PanSTARRS PS1 review PORDIG (Vorsitz)
- Martin Hennemann: Studentensprecher in den Jahren 2007-2008
- Thomas Henning: Mitglied der folgenden Komitees: Visiting Committee, Strasburg Observatory; Berufungskommission, Professur für Planeten- und Sternentstehung, ETH Zürich; Search Committee, ALMA Director; ESO Council (Vice President), Wissenschaftlicher Beirat des Kiepenheuer-Instituts für Sonnenphysik, Freiburg und der Thüringer Landessternwarte, Tautenburg; PS1 Board of Directors; European Research Council, Panel Chair, Advanced Research Grants; Mitglied im SOFIA Science Council; Vorsitzender des German Interferometry Centre FrInGe; Präsident des Science Council der European Interferometry Initiative; Co-I der IR-Instrumente FIFI-LS (SOFIA), PACS (HERSCHEL), MIRI (JWST), SPHERE (VLT), Prima-DDL (VLTI), Matisse (VLTI); Mitglied der AG und der DPG; Mitglied der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina (Obmann für Astrophysik)
- Tom Herbst: Principal Investigator für LINC-NIRVANA, Mitglied des Science and Technical Committee des LBT, des Science Strategy Working Group und des Science and Technical Committee der ESO, Vorsitzender des E-ELT Science and Engineering Committee, Supervisor des Projekts Differential Image Motion Monitor für das LBT, Co-Investigator der LBT AO Test-Kamera, Mitglied des Science Teams für DARWIN, verantwortlich für die Phase A-Projektstudie für MICADO (E-ELT)
- Klaus Jäger: Mitarbeit im Rat Deutscher Sternwarten (RDS) und in der LBT- Beteiligungsgesellschaft (LBTB), Mitglied des Wissenschaftlichen Beirats der International Summer Science School Heidelberg (ISH)
- Knud Jahnke: Mitglied der Phase A Working group für die E-ELT Instrumentenstudie MICADO
- Sebastian Jester: Mitglied des CHANDRA X-ray Observatory Time Allocation Committee
- Ulrich Klaas: Mitglied des HERSCHEL Calibration Steering Group als Vertreter des PACS Instrument Control Centre Calibration Working Group
- Oliver Krause: Mitglied des European SPICA Instrument Steering Committee
- Martin Kürster: Mitglied des Organizing Committee for the Creation of IAU Commission 53, »Extrasolar Planets«
- Jaron Kurk: Mitglied des TAC für SUBARU in der Sparte »High-z Galaxies«, »Large Scale Structure«
- Ralf Launhardt: Mitglied der Jury zur Vergabe des Wissenschaftlichen Ernst-Patzer-Preises
- Christoph Leinert: Mitglied des VLTI subpanel im ESO Science and Technical Committee
- Alejo Martinez: Mitglied der Additional Science Working Group for EUCLID; Member of the Science Advisory Board for the EUCLID near-infrared spectrograph
- Klaus Meisenheimer: Mitglied des ESO OPC; Vorsitzender des »Strategic TAC« am MPIA
- Reinhardt Mundt: Mitglied des MPIA Time Allocation Committee
- Anna Pasquali: Mitglied des ESO OPC
- Hans-Walter Rix: Vorsitzender des Wissenschaftlichen Beirats des Astrophysikalischen Instituts Potsdam; Mitglied im Board der Large Binocular Telescope Corporation und im Board der Large Binocular Telescope Beteiligungsgesellschaft; Mitglied im NIRSPEC Science Team; Mitglied im BMBF-Gutachterausschuss »Astrophysik und Astroteilchenphysik«; Mitglied der DFG Fachkollegien; Mitglied »at large« der ASTRONET Infrastructure Roadmap Working Group
- Hermann-Josef Röser: Mitglied des PAC am MPIA; Vorsitzender des Computer-Komitees am MPIA; ESO OPC: Advisor für Panel A1, Vertreter des Panels im OPC für Diskussion der Large Programs
- Eva Schinnerer: Mitglied der Jury zur Vergabe des Wissenschaftlichen Ernst-Patzer-Preises
- Jakob Staude: Mitglied der Bundesjury bei Jugend forscht.
- Fabian Walter: Mitglied des IRAM Program Committee und des NRAO User's Committee

## Weitere Aktivitäten am Institut

- Für den Girls Day am 24. April am Institut waren Stephan Birkmann, Helmut Dannerbauer und Silvia Scheithauer verantwortlich.
- Die neunteilige Vortragsreihe »Astronomie am Sonntag Vormittag« im Mai–Juli organisierten Klaus Jäger, Jakob Staude, Boyke Rochau und andere.
- Das BOGY-Praktikum für Schüler am 20.–24. Okt. organisierten Leonard Burtscher, Klaus Jäger, Klaus Meisenheimer und Jutta Stegmaier.
- Das Kuratorium des Instituts tagte am 22. Februar und am 11. Dezember
- Auf einer Pressekonferenz am 10. Dezember im Haus der Klaus Tschira Stiftung wurde bekannt gegeben, dass diese Stiftung auf dem Gelände des MPIA das »Haus der Astronomie« errichten wird. Darin sollen alle Outreach-Aktivitäten der Heidelberger Astronomen gebündelt und professionalisiert werden. Neben der Information der Medien und der an die Bevölkerung der Region gerichteten Öffentlichkeitsarbeit werden Schulprojekte sowie die

Aus- und Fortbildung der Physik- und Astronomielehrer eine wichtige Rolle spielen. Die Klaus Tschira Stiftung wird das Gebäude und dessen technische Einrichtungen finanzieren, die Max-Planck-Gesellschaft die Einrichtung betreiben. Zu den Personalkosten tragen neben diesen Einrichtungen auch die Stadt Heidelberg, das Land Baden-Württemberg und die Universität Heidelberg bei. Darüber hinaus wird die Universität Heidelberg mit ihrem Zentrum für Astronomie Aktivitäten im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit und Lehrerbildung einbringen. An der Planung und Projektierung des »Hauses der Astronomie« waren Thomas Henning, Klaus Jäger, Hans-Walter Rix, Jakob Staude und Mathias Voss beteiligt.

Im Laufe des Jahres wurden insgesamt 760 Besucher in 30 Gruppen durch das Institut geführt (Axel M. Quetz, Patrick Weise, Cassandra Fallscheer und andere). Klaus Jäger gestaltete spezielle Führungen mit Vorträgen über das Institut für den Gesprächskreis Rhein-Neckar, für den Freundeskreis des Planetariums Mannheim, für Mitarbeiter und Leser der Rhein-Neckar-Zeitung, für die International Max-Planck-Research School, sowie ein einstündiges Feature zur Astronomie bei Radio Darmstadt.

Es wurden 15 Pressemitteilungen veröffentlicht und zahlreiche Rundfunk- und Fernseh-Interviews gegeben (Klaus Jäger, Axel Quetz, Jakob Staude und andere).

Jakob Staude, unterstützt von Axel Quetz, beteiligte sich an Gestaltung und Herausgabe des 27. Jahrgangs der Zeitschrift *Sterne und Weltraum*.

Im Physikalischen Fortgeschrittenenpraktikum an der Universität Heidelberg betreuten Josef Fried den Versuch »CCD-Photometrie« und Stefan Hippler den Versuch »Wellenfrontanalyse mit einem Shack-Hartmann-Sensor«

Ulrich Klaas war Vorsitzender des Bibliotheksausschusses. Sebastian Jester gab als Gast-Editor für das SDSS Archiv ein Sonderheft des IEEE-Journals »Computing in Science and Engineering« (Januar / Februar 2008, Vol. 10, No. 1) heraus.

Markus Nielbock wirkte beim Astronomischen Beobachtungspraktikum der Kantonsschule Luzern am Observatorium »Hoher List«, sowie bei dem Initiativkreis für Horizontastronomie im Ruhrgebiet e.V. und bei der »Astronomieschule e.V.« an der Landessternwarte mit.

## Preise

Die Otto-Hahn-Medaille der Max-Planck-Gesellschaft für herausragende Leistungen junger Nachwuchswissenschaftler erhielten: Anders Johansen für eine Untersuchung zur gravoturbulenten Entstehung von Planetesimalen in den turbulenten Gasscheiben um junge Sterne, und Nadine

Neumayer für die Massenbestimmung des Schwarzen Loches im Zentrum der Aktiven Galaxie Centaurus A und den Nachweis, dass auch hier diese Masse mit der Sternennasse der Milliarden mal größeren Galaxie gut korreliert.

Frithiof Brauer erhielt ein Reimar-Lüst-Stipendium der Max-Planck-Gesellschaft.

Die diesjährigen Preise der Wissenschaftlichen Ernst-Patzer-Stiftung gingen an die Doktoranden Frithiof Brauer für seine Arbeit über Koagulation, Fragmentation und Radialbewegung fester Teilchen in Protoplanetaren Scheiben, Dominik A. Riechers für seine Arbeit über die Entstehung einer Quasargalaxie durch Verschmelzung zweier Galaxien 1.4 Milliarden Jahre nach dem Urknall, und Xianxiang Xue für ihre Bestimmung der galaktischen Rotationskurve bis 60 Kiloparsec und der Masse des Halos aus Dunkler Materie aus der Kinematik von 2400 Blauen Riesen des SDSS-Katalogs.

Micaela Stumpf erhielt den »Chamberliss Astronomy Achievement Student Award« der American Astronomical Society für eines der besten Posters auf dem 211. AAS Meeting in Austin, USA.

## Vereinbarkeit von Wissenschaft, Beruf und Familie

Am Institut wurden im Laufe des Jahres weitere Maßnahmen zur besseren Vereinbarkeit von Beruf und Familie durchgeführt. Neben dem bereits bestehenden Baby-Büros für junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, der Schaffung von Möglichkeiten familienbedingter Tele- und Heimarbeit sowie der Verbesserung des Informationsaustausches zum Thema Vereinbarkeit von Beruf und Familie, wurde ein institutseigener Kinderbetreuungsraum eingerichtet. Außerdem hat das Institut gemeinsam mit den anderen Heidelberger Max-Planck-Instituten Belegungsrechte für insgesamt 15 Krippen- und Kindergartenplätze erworben. Das MPIA bietet zudem einen Kinder-Betreuungsservice für Kongresse und andere größere wissenschaftliche Veranstaltungen an. Das Institut ist neben zahlreichen anderen wichtigen wissenschaftlichen Einrichtungen und Wirtschaftsunternehmen aus der Region Mitglied beim Heidelberger Aktionsbündnis für Familie. Ziel dieser vernetzten Wissenschaftseinrichtungen und Wirtschaftsunternehmen ist es, durch eine familienfreundliche Unternehmenspolitik, Heidelberg als Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort attraktiver zu gestalten. Die Maßnahmen zur besseren Vereinbarkeit von Beruf und Familie am Institut werden laufend fortentwickelt, um somit die Rahmenbedingungen für die Forschungsarbeit weiter zu verbessern.

## Zusammenarbeit mit Firmen

- 4D electronic GmbH, Bretten  
 Aachener Quarz-Glas, Aachen  
 Abacus Deltron, München  
 ABB (Hartmann + Braun), Alzenau  
 Additive GmbH, Friedrichsdorf  
 ADR, Paris  
 Agilent Technologie, Böblingen  
 Ahlers EDV-Systeme GmbH,  
 Wildburg-Sulz  
 Air Liquide GmbH, Pfungstadt  
 alimex GmbH, Willich  
 Allectra GmbH, Schönfließ  
 Almet-AMB, Mannheim  
 Alternate Computer Versand, Linden  
 America II, Mönchengladbach  
 Ametek GmbH, Meerbusch  
 Amphenol AIR LB GmbH, Saarlouis  
 Amphenol-Tuchel Electronics,  
 Heilbronn  
 Andus Electronic GMBH, Berlin  
 Angst+Pfister, Mörfelden  
 Ansonic GmbH, Essen  
 APE Elektronik, Kuppenheim  
 Argenta Elektronik, Solingen  
 Arnold Magnetic Technologies, Hanau  
 Arrow Central Europe GmbH,  
 Dreieich  
 Arthur Henninger, Karlsruhe  
 Arrow Central Europe GmbH,  
 Dreieich  
 Asahi Spectra Co., Ltd., Kita-ku,  
 Tokyo  
 Asco Joucomatic GmbH & Co.,  
 Ölbronn-Dürren  
 Asknet AG, Karlsruhe  
 AST Leistungselektronik GmbH, Berlin  
 Auer Paul GmbH, Mannheim  
 AVNET EMG, Bad Camberg  
 AXSYS Technologies,  
 Rochester Hills, USA  
 B+A Montana Networks GmbH,  
 Karlsruhe  
 Bacuplast GmbH, Remscheid-  
 Lüttringhausen  
 Baier Digitaldruck, Heidelberg  
 Barr Associates Inc., Westford, USA  
 Barth, Leimen  
 Bechtle GmbH & Co.KG, Mannheim  
 Bectronic GmbH, Derschen  
 Belling GmbH, Mannheim  
 Best Power Technology, Erlangen  
 Beta Layout, Arbergen  
 Bikar-Metalle GmbH, Bad Berleburg  
 Binder Elektronik GmbH, Sinsheim  
 Blässinger, Stuttgart  
 Böllhoff GmbH, Winnenden  
 Börsig, Neckarsulm  
 Bohnenstiel, Heidelberg  
 Bubenzer Bremsen, Kirchen-  
 Wehrbach  
 Bürger-Electronic, Reutlingen  
 Bürklin OHG, München  
 Bremer und Leguil GmbH, Duisburg  
 C & K Components,  
 Neuried b. München  
 CAB, Karlsruhe  
 Cadence Design Systems GmbH,  
 Feldkirchen  
 CADFEM GmbH, Grafing  
 Cadillac-Plastic, Viernheim  
 CAMCenter GmbH, Nidderau  
 CAP CNC+Coating Technik, Zell. a. H.  
 Cargopack mbH, Mannheim  
 Carl Roth, Karlsruhe  
 Carl Zeiss 3D Automation GmbH,  
 Essingen  
 Carl Zeiss MicroImaging GmbH,  
 Göttingen  
 Carl Zeiss Optronics GmbH,  
 Oberkochen  
 Caspar Gleidlager GmbH  
 Chemsearch, Mörfelden-Walldorf  
 Cherry Mikroschalter, Auerbach  
 Christiani, Konstanz  
 Chroma Technology Corporation,  
 Rockingham, USA  
 Cision Deutschland GmbH,  
 Kornwestheim  
 Coating-Plast, Schriesheim  
 Com Pro, Stuttgart  
 Comtronic GmbH, Heiligkreuzsteinach  
 Compumess Elektronik,  
 Unterschleissheim  
 Conrad Electronic GmbH, Hirschau  
 Contag GmbH, Berlin  
 Cook Kem H., San Ramon, USA  
 Cryophysics GmbH, Darmstadt  
 Cryotherm GmbH & Co. KG,  
 Euteneuen  
 Cryovac, Troisdorf  
 CST GmbH, Darmstadt  
 Cunz GmbH & Co.KG., Frankfurt  
 D.H. Frank GmbH, Nussloch  
 D+C-Airparts Battery,  
 Mörfelden-Walldorf  
 Dannewitz, Linsengericht  
 Dastex GmbH & Co. KG,  
 Muggensturm  
 dataTec GmbH, Reutlingen  
 db electronic Daniel Böck GmbH,  
 Ehringshausen  
 Dell-Computer GmbH  
 Delta-V, Wuppertal  
 Deltron Components GmbH,  
 Neuried b. München  
 Deti, Meckesheim  
 Digi-Key, Enschede  
 Diconite UTE Pohl GmbH, Iserlohn  
 Distrelec Schuricht GmbH, Bremen  
 DMG-Service, Pfronten  
 DMG Stuttgart Vertriebs+Service,  
 Leonberg  
 DPS Vakuum, Großrinderfeld  
 DPV Elektronik Service GmbH,  
 Eppingen  
 Dürkes & Obermayer, Heidelberg  
 Dyna Systems NCH, Mörfelden-  
 Walldorf  
 Easy-Tecs GmbH, Karlsfeld  
 Ebara Pumpen, Dietzenbach  
 EBJ, Ladenburg  
 EBV-Elektronik, Leonberg  
 EC Motion, Mönchengladbach  
 Edico-Equipment GmbH, Nürnberg  
 Edmund Optics GmbH, Karlsruhe  
 Edsyn Europa, Kreuzwertheim  
 EFH, Neidenstein  
 Elblinger Elektronik GmbH, Salzgitter  
 Electronic Product Services Lt,  
 Kinsealy Co., Dublin  
 Electronic sensor+resistor GmbH,  
 Ottobrunn  
 Elektrometall Schwanenmühle  
 Elektro-Steidl, Weinheim  
 Elna Transformatoren, Sandhausen  
 Elspec, Geretsried  
 ELV Elektronik, Leer  
 EMS-Elektro Metall Schwanenmühle  
 Eriks NordOst GmbH, Blankenburg  
 ERNI, Adelberg  
 Essential Systems GmbH, Havixbeck  
 Eurodis Enatechnik, Quickborn  
 Euromicron GmbH, Mittenaar  
 Europa-Lehrmittel, Verlag  
 European IT Storage Ltd., Filderstadt  
 EWF, Eppingen  
 Excel Technology Europe GmbH,  
 Darmstadt  
 eXpansys SAS, Montpellier Cedex 2  
 Faber Industrietechnik GmbH,  
 Mannheim  
 factronix GmbH, Alling

Fairchild Imaging Inc., Milpitas, CA, USA	Gummi Körner, Eppelheim	Ingenieurbüro M. Steinbach, Jena
Farben Specht, Bammental	Gummi-Plast Schild, Gerns	Ingenieurbüro Schlossmacher, Unterschleißheim
Farnell Electronic Services, Möglingen	Günter Jacobi GmbH, Griesheim	Inneo Solutions GmbH, Ellwangen
Farnell GmbH, Oberhaching	Gutekunst & Co. Federnfabrik, Metzingen	Inotec electronics GmbH, Lauffen a.N.
Farnell in One, Deisenhofen	Gutekunst, Pfalzgrafenweiler	Institut für Mikrotechnik, Mainz
FAST ComTec Communication, Oberhaching	Guttruff Friedrich GmbH, Wertheim	iSystem, Dachau
Faulhaber GmbH & Co KG, Schönaich	Häcker, Weinsberg	item Industrietechnik, Ulm
FCT Electronic, München	Häfele Leiterplattentechnik, Schriesheim	Jacobi Eloxal GmbH, Altlußheim
FED-Fachverband Elektronik-Design, Berlin	Hagemeyer Deutschland GmbH & Co., Heidelberg	Japan Aviation Electronics Ind, Tokyo
Fiberoptic Systems Inc., Simi Valley, USA	Hahn & Kolb GmbH & Co., Stuttgart	Jarmyn, Limburg
Filtrop AG, Balzers	Hans E. Winkelmann GmbH, Rödermark/Ober-Roden	Joisten+Kettenbaum, Bergisch Gladbach
Fischer Elektronik GmbH & Co., Lüdenscheid	Harmonic Drive AG, Heidenheim	Jasco, Groß-Umstadt
Fisba Optik, St. Gallen	Heidenhain Dr. Johannes GmbH, Traunreut	Jehier S.A., Chemille, F
Fischer Elektronik, Lüdenscheid	Heinrich Baum GmbH, Flörsheim	Kälte Wärme Klima, Lauffen a.N.
Flexa GmbH & Co.KG, Hanau	Heinzinger electronic GmbH, Rosenheim	Kaiser + Kraft GmbH
FlowCAD EDA-Software Vertrieb, Feldkirchen	Helukabel, Hemmingen	Kaufmann, Horst W., Crailsheim-Wittau
Fotemia KG, Wiesbaden	Hema, Mannheim	Keil Electronic GmbH, Grasbrunn
FPS-Werkzeugmaschinen GmbH, Wargau	Heinrich Wietholt GmbH, Coesfeld	Keithley Instruments GmbH, Germering
Frank GmbH, Mörfelden-Walldorf	HM Industrieservice, Waghäusel	Kerb-Konus-Vertriebs-GmbH, Amberg
Franke, Aalen	Henri Electronic GmbH, Bopfingen	Kern Micro-und Feinwerktechnik, Murnau-Westried
Fresemann Andreas, Dörpen	Hera Hermann Rapp GmbH, Blaufelden	KFK Verzinkerei GmbH, Sinsheim
Future Electronics Deutschland, Unterföhring	Herz, Leister Geräte, Neuwied	KG Hinrich Karp, Bleckede
F.X. Stöhr GmbH & Co. Armaturenwerke, Königsbrunn	Hewlett-Packard Direkt, Böblingen	KGW-Isotherm GmbH, Karlsruhe
GAD GmbH, Plankstadt	Hilger und Kern, Mannheim	Kim-Vy Tran, Zürich
Ganter GmbH, Walldorf	Hilma-Römheld GmbH, Hilchenbach	Klevenz, Markus, Heidelberg
Gehrckens C. Otto GmbH, Pinneberg	HKI GmbH, Weinheim	Kniel GmbH, Karlsruhe
Geier Metall-u. Stahlhandel, Mannheim	Hoffmann Nürnberg GmbH, Nürnberg	Knürr AG, Arnstorf
Genoma Normteile, Hameln	Hommel-Hercules Werkzeughandel, Viernheim	Koch + Schröder GmbH, Neuss
Gerwah Präzision GmbH, Grosswallstadt	Hormuth, Heidelberg	Koco Motions GmbH, Dauchingen
GFI Elektro GmbH, Heidelberg	Horst Göbel, Ludwigshafen	König GmbH, Büttelborn
Gläser Automatendreherei, Olbernhau	Horst Pfau, Mannheim	Kühne + Nagel, Halger
Glenair Electric GmbH, Oberursel	HOT Electronic, Taufkirchen	Kurt Norr & Co, Viernheim
Glenair Electronic GmbH, Steinbach	HTF Elektro, Mannheim	KVT Canespa, Langenhagen
GLT, Pforzheim	Huber + Suhner, Taufkirchen	L.Meili & Co GmbH/Hebezone, Hanau
Goodfellow, Bad Nauheim	Hummer + Rieß, Nürnberg	Lafloow Reinraumtechnik GmbH + Co, Blaubeuren
Goecke GmbH & Co KG, Schwelm	IBF Mikroelektronik, Oldenburg	Lambda Electronics, Achern
Gravograph GmbH, Umkirch	IBIS-Ingenieurbüro, Mainburg	Lang-Werkzeugtechnik GmbH, Neuhausen
Gould Nicolet Meßtechnik, Dietzenbach	IBT Dr. Johannes Tille, Groß-Zimmern	Laser 2000 GmbH, Wessling
Grandpair, Heidelberg	IDS GmbH, Obersulm	Laser Components, Olching
Grothues Elektrotechnische Geräte, Leimen	IDS Innomic GmbH, Salzwedel	Lauterbach Verfahrenstechnik, Eggenstein
Grulms-Pneumatik, Grünstadt	II-VI Deutschland GmbH, Darmstadt	Lava Vakuumverpackung, Bad Saulgau/Lampertsweiler
GRW, Würzburg	Ilfa Feinstleiteteknik GmbH, Hannover	LCK Vertriebs-GmbH, Ubstadt- Weiher
	Industriebedarf Oberhausen, Ketsch	LDS Test and Measurement GmbH, Ismaning
	Infrared Labs, Tucson	Lemo Elektronik GmbH, München
	Ing.-Büro Loss Rolf-Dieter, Wutöschingen	
	Ing. H. Tafelmaier, Rosenheim	

- Leuze electronic GmbH + Co.,  
 Owen-Teck  
 Lineartechnik Korb  
 LinuxLand International GmbH,  
 München  
 Lista GmbH, Bergneustadt  
 LOT Oriel GmbH, Darmstadt  
 Löttechnik 24, Dortmund  
 LPKF CAD/CAM Systeme, Garbsen  
 LTN Servotechnik GmbH, Otterfing  
 LWS-Technik GmbH & Co.,  
 Heilbronn  
 M & L Montagetechnik Luck GmbH,  
 Wasungen  
 Maas International GmbH, Bruchsal  
 Macrotron, München  
 Mädler, Stuttgart  
 Magna C GmbH + Co, Wendlingen  
 Mankiewicz Gebr. & Co, Hamburg  
 Maschinenbau Pelzer, Jena  
 Matsuo Electronics Europe, Eschborn  
 Matsushita Automation, Holzkirchen  
 Max Computer GmbH, Schönberg  
 Maxim GmbH, Planegg  
 Meilhaus Electronic GmbH,  
 Puchheim  
 Meister Strömungstechnik, Wiesen  
 Melles Griot, Bensheim  
 Memmert GmbH + Co. KG,  
 Schwabach  
 Menges electronic, Dortmund  
 Mensch und Maschine Akademie,  
 Kirchheim/Teck  
 Mentor, Erkrath  
 Messer Cutting+Welding, Frankfurt  
 Metallbau Glawion GmbH,  
 Eberswalde  
 Metrofunkkabel-Union GmbH, Berlin  
 Micos, Eschbach  
 Micro Warehouse, Mainz-Kastel  
 Microgate Srl-GmbH, Bolzano  
 Micronclean, Reutlingen  
 Microstaxx GmbH, München  
 Mikropack GmbH, Ostfildern  
 Minera Kraftstoffe  
 Misco Germany Inc.  
 Mitsubishi-Electric, Weiterstadt  
 MK Computer Electronic GmbH  
 MKS Instruments Deutschland Gm  
 Modia GmbH, Neckargemünd  
 Modulor, Berlin  
 Möller-Wedel Optical GmbH, Wedel  
 Mönninghoff, Bochum  
 Moll, Bleche und Verarbeitung,  
 Hirschberg  
 MSC Vertriebs GmbH, Stutensee  
 MST Aerospace GmbH, Köln
- MTG-Bayer GmbH, Mannheim  
 MTI, Baden-Baden  
 MTS Systemtechnik GmbH,  
 Mertingen  
 Munz, Lohmar  
 Mura, Metallbau, Viernheim  
 Murrplastik-System-Technik,  
 Oppenweiler  
 Mutanox GmbH, Berlin  
 MWR/Christian Wirth, Rimbach  
 Nanotec-Electronic GmbH, Finsing  
 National Instruments GmbH,  
 München  
 Neolab Laborbedarf – Vertriebs  
 GmbH, Heidelberg  
 Neopost GmbH, München  
 Newport Spectra-Physics GmbH,  
 Darmstadt  
 NH Heidelberg  
 Nibler W. GmbH, Walldorf  
 Nickel Schalt- und Meßgeräte,  
 Villingen-Schwenningen  
 Niedergesess, Sandhausen  
 Nies Elektronik GmbH, Frankfurt  
 Nösse Datentechnik, Leverkusen  
 Nova Electronik, Pulheim  
 NU Horizons Electronics GmbH,  
 München  
 Oberhausen, Ketsch  
 Oerlikon, Köln  
 officeb2b GmbH, Aysetten  
 Officio, Bremen  
 Omnilab GmbH, Berlin  
 Ooms, Ittner & Verfürth,  
 Limburgerhof  
 Open Storage AG,  
 Murnau / Staffelsee  
 Optima Research Ltd, Stansted  
 Orbiteam SW-GmbH, Bonn  
 Otto Faber, Mannheim  
 Otto Ganter GmbH, Furtwangen  
 Orglmeister, Walluf  
 Otto Office GmbH, Hamburg  
 OWIS GmbH, Staufen  
 Oxford Instruments GmbH,  
 Wiesbaden  
 OZB Computerzubehör, Gaggenau  
 P. Lapport & Sohn GmbH,  
 Enkenbach-Alsenborn  
 Parametric Technology, München  
 Parcom, CH-Flurlingen  
 Partool GmbH, Nürnberg  
 pbe Electronic, Elmshorn  
 PC-Ware, Bad Homburg  
 PC-Ware AG, Leipzig  
 PC-Ware Information Technologie,  
 Frankfurt a. M.
- PCE Group oHG, Meschede  
 Penninger GmbH, Heidelberg  
 pf Electronic GmbH, gerlingen  
 Pfeiffer Adolf GmbH, Mannheim  
 Pfeiffer & May, Heidelberg  
 Pfeiffer Vacuum GmbH, Asslar  
 Philipp Lahres GmbH, Weinheim  
 Phoenix Contact GmbH & Co.,  
 Blomberg  
 Physik Instrumente, Karlsruhe  
 Physik Instrumente, Waldbronn  
 Phytex Messtechnik, Mainz  
 Phytron-Elektronik GmbH,  
 Gröbenzell  
 Plano GmbH, Wetzlar  
 Plastipol, Runkel  
 Plusminus Batterietechnik GmbH,  
 Überlingen  
 PMK Mess- und Kommunikations-  
 technik, Heusenstamm  
 Pneu-Therm Ltd., Newark  
 POG Präzisionsoptik GmbH, Gera  
 Polytec GmbH, Waldbronn  
 Polytron-Kunststofftechnik,  
 Bergisch Gladbach  
 Pro Betriebsratswissen e.V., Bonn  
 Pro-Com Datensysteme GmbH,  
 Eislingen  
 Promostore Merchandising, Essen  
 Prout Services+Hardware GmbH,  
 Wandlitz  
 PSC Portable System Center,  
 Saarbrücken  
 PSI Tronix, Tulare, California, USA  
 PTR Präzisionstechnik GmbH,  
 Maintal  
 Pühl A. GmbH, Plettenberg  
 Püschel Elektronik, Mannheim  
 Quick-Ohm Küpper & Co. GmbH,  
 Wuppertal  
 R.A. Zimmermann KG, Dietzenbach  
 Radiall, Rödermark  
 Räder Gangl, München  
 Rahm GmbH, Heidelberg  
 RALA, Ludwigshafen  
 Rau-Messtechnik, Kelkheim  
 RAZ R.A. Zimmermann KG,  
 Dietzenbach  
 RCF-comtronics, Neenstetten  
 Redcoon GmbH, Aschaffenburg  
 Redlich-EDV, Jena  
 REEG GmbH, Wiesloch  
 Regional Electronic Distribution,  
 Rodgau-Jügesheim  
 REFA Construction Management,  
 Windhoek  
 Reichelt Elektronik, Sande

- Reimund Oberflächentechnik,  
Sinsheim
- Reinhold Halbeck, Offenhausen
- Reith, Mannheim
- Retronic, Ronneburg
- Rexim, Maulbronn
- Rexroth Bosch, Lohr am Main
- Riekert & Sprenger, Wertheim
- Rinnert GmbH, Kaast
- Rittal GmbH + Co. KG, Herborn
- Roland Häfele Leiterplattentechnik,  
Schriesheim
- Rossaro Ausbau GmbH, Aalen
- Roth Carl GmbH, Karlsruhe
- Rotronik GbR, Bruckmühl
- RS Components GmbH, Mörfelden-  
Walldorf
- RS Elektroniksystem GmbH, Grassau
- RSP-GmbH, Mannheim
- Rudolf, Heidelberg
- Rütgers, Mannheim
- RUF Elektrohandel, Mannheim
- Rufenach Vertriebs-GmbH,  
Heidelberg
- Rufflar, Laudenbach
- Rutronik, Ispringen
- Samasoffice GmbH, Mannheim
- Sartorius, Ratingen
- Sasco Holz GmbH, Putzbrunn
- Sauter-Cumulus GmbH, freiburg i.Br.
- Scantec, Planegg
- Schaeffer AG, Berlin
- Schäfer-Shop GmbH, Mannheim
- Schäfer+Kirchhoff GmbH, Hamburg
- Schaffner Elektronik, Karlsruhe
- Schenker Deutschland AG, Mannheim
- Schenker Deutschland AG, Osnabrück
- Schneider Günther GmbH,  
Sandhausen
- Schrauben-Jäger AG, Viernheim
- Schraubenladen, Villingen-  
Schwenningen
- Schroff GmbH, Straubenhardt
- Schulenburg W. Nachf.  
GmbH & Co.KG, Wuppertal
- Schulz H.u.G. Ingenieure, Heidelberg
- Schupa Schumacher GmbH, Walldorf
- Schuricht, Fellbach-Schmiden
- Schweizer Elektroisierungsstoffe,  
Mannheim
- SCT Servo Control Technology,  
Tausenstein
- SE Spezial-Electronic, Bückeberg
- Secutrada GbR, Stuttgart
- Seifert mtm Systems, Ennepetal
- Servo Halbeck GmbH, Offenhausen
- Sicon Socomec GmbH, Mannheim
- Siemens AG, Mannheim
- Sky Blue Microsystems, München
- SMS System-Management, Aachen
- Softwarebox GmbH, Schönaich
- SolidLine AG, Walluf
- Spaeter, Viernheim
- Sphinx GmbH, Laudenbach
- Spindler & Hoyer, Göttingen
- Spoerle Electronic, Dreieich
- Stemmer PC-Systeme GmbH,  
Puchheim
- Stenzel GmbH, Frankfurt/Oder
- StoCretec, Krieffel
- Straschu Leiterplatten, Oldenburg
- Studio 1 Solutions, Berlin
- Suarez International, Tucson
- SUCO-Scheuffele,  
Bietigheim-Bissingen
- Sulzer GmbH, Freiburg i. Br.
- SWS Edelstahl GmbH, Emmingen
- Sumitomo SHI Cryogenics, Darmstadt
- Sun Microsystems GmbH,  
Kirchheim-Heimstetten
- Swedex GmbH+Co.KG, Essen
- Swets Information Services,  
Frankfurt a.M.
- Synatron, Hallbergmoos
- SynoTech, Linnich
- Tandler, Brauen
- Tautz Druckluft+Sandstrahltechnik,  
Mannheim
- Tafelmaier, Rosenheim
- TBK, Meinerzhagen
- Techem Energy Services GmbH,  
Eschborn
- Technik Direkt, Würzburg
- Technische Antriebselemente GmbH,  
Hamburg
- TecService Europe AG, Nufringen
- Tekdata Interconnections Ltd.,  
Staffordshire
- Teldix GmbH, Heidelberg
- Teledyne Scientific & Imaging, LLC,  
Camarillo, USA
- Telemeter Electronic GmbH,  
Donauwörth
- Telko GmbH, Saalfeld
- Teseq GmbH, Berlin
- Testo GmbH & Co, Lenzkirch
- Teuber Vermessungsgeräte,  
Freigericht
- tfi Ingenieure Elektrotechnik,  
Mannheim
- The MathWorks GmbH, Aachen
- The MathWorks GmbH, Ismaningen
- Thermodyne GmbH, Osnabrück
- THK, Düsseldorf
- Thorlabs GmbH, Grünberg
- ThyssenKrupp Schulte, mannheim
- TNT Express GmbH, Mannheim
- TNT Express GmbH, Troisdorf
- TMS Test- und Meßsysteme,  
Herxheim/Hayna
- Tomerelli s.r.l., Villafranca
- Topcart International GmbH,  
Erzhausen
- Total Walther GmbH, Ratingen
- Tower Electronic Components,  
Schriesheim
- Transmit-Deutschland GmbH,  
Hollenstedt
- Transtec AG, Tübingen
- Trenz Electronic GmbH, Bünde
- Trinos Vakuum-Systeme GmbH,  
Göttingen
- TS-Optoelectronic, München
- TuTech Innovation GmbH, Hamburg
- TWK-Elektronik, Karlsruhe
- Tydex J.S.Co, St. Petersburg
- UKP GmbH, Mainz
- Unger GmbH, Kirchheim/Teck
- UTI Deutschland GmbH, Mannheim
- v. Bezold & Partner, München
- Vacom GmbH, Jena
- Vacuumschmelze, Hanau
- VBE Baustoff+Eisen, Heidelberg
- Vero Electronics, Bremen
- Vigot GmbH, Bremen
- Vision Engineering, Emmering
- Visitech, Marxzell-Pfaffenrot
- VWR International GmbH, Dresden
- Walter Bautz GmbH, Griesheim
- W. & W. Schenk, Maulbronn
- W. Sell Computer-Dienst, Wiesbaden
- W.L. Gore & Associates, Pleinfeld
- W. Niedergesess Holz, Sandhausen
- Walter Bautz GmbH, Griesheim
- Watlow GmbH, Kronau
- Wiegandt GmbH, Krefeld
- Wiesemann u. Theis GmbH,  
Wuppertal
- Wikotec, Bramsche
- Willi Stober GmbH, Karlsruhe
- WIKA, Klingenberg
- WilTec Wildanger Technik GmbH,  
Eschweiler
- Witter GmbH, Heidelberg
- Witzenmann Rhein-Ruhr GmbH,  
Xanten
- Wiwasoft GmbH, Hannover
- WS CAD Elektronik, Berk Kirchen
- Würth Elektronik GmbH, Künzelsau
- Yokogawa-nbn GmbH, Herrsching
- Zemax Corporation, Bellevue, USA

## Tagungen, Vorträge

### Veranstaltete Tagungen

#### Tagungen des MPIA:

- Gesprächskreis Rhein-Neckar, »Physikalische Forschung in Industrie und Hochschule im Rhein-Neckar-Raum«, MPIA, 31. Jan. (Klaus Jäger)
- Kuratorium des MPIA, Heidelberg, MPIA, 22. Feb. (Klaus Jäger)
- Konferenz »Nuclear Clusters Across the Hubble Sequence«, Heidelberg, 25.–27. Feb. (E. Schinnerer, S. Koltes-Al-Zoubi, S. Haan, H.-W. Rix)
- Interne Tagung der IMPRS-Studenten, Innsbruck, 4.–7. März (S. Boudreault)
- First PanSTARRS1 Science Consortium Meeting, Heidelberg, 14.–18. Apr. (E. Bell, S. Jester)
- LINC-NIRVANA Science Team Meeting, Heidelberg, 8. Mai (Eva Schinnerer)
- Seminar zur Personalführung für junge Forschungsgruppenleiter, Heidelberg, 5.–7. Mai (Eva Schinnerer)
- Second Generation Science with the Large Binocular Telescope, Schloss Ringberg, 13.–19. Juli (Tom Herbst, Eva Schinnerer)
- Konferenz »EPOS 2008 – The Early Phase of Star Formation«, Schloss Ringberg, 28. Juli–1. Aug. (Th. Henning, H. Beuther, H. Linz, M. Nielbock, D. Semenov, J. Steinacker)
- IMPRS Summer School »The Art and Craft of Astronomical Instrumentation«, Heidelberg, 1.–5. Sept. (Ch. Fendt, A. Quirrenbach (ZAH/LSW))
- Konferenz »Cosmic Dust – Near and Far«, Heidelberg, 8.–12. Sep. (Th. Henning, F. Huisken, J. Steinacker, M. Jannssen-Bennynck, O. Krause, M. Piroth)
- Workshop »Cosmic Dust and Radiative Transfer«, MPIA, 15.–17. Sep. (Th. Henning, J. Steinacker)
5. MPIA Student Workshop, Munchhausen, Frankreich, 21.–27. Sep. (Eva Meyer, Boyke Rochau)
- Arbeitsstreffen mit LBTO-Vertretern zu LINC-NIRVANA, Heidelberg, 23.–24. Sep. (Kürster)
- Konferenz »Understanding Lyman-alpha Emitters«, Heidelberg, 6.–10. Okt. (K. Nilsson, K. Meisenheimer, H. Dannerbauer, J. Kurk, H. Seifert, Ch. Tapken)
- External Retreat der Abteilung PSF, Maulbronn, 8.–10. Okt. (H. Beuther)
- Arbeitsstreffen der Betriebsräte aller Max-Planck-Institute in Heidelberg, 10. Okt. (K.-H. Marien)
- Workshop »Classification and Discovery with Large Astronomical Surveys«, Schloss Ringberg, 14.–17. Okt. (C. Bailer-Jones, C. Elting, S. Koltes-Al-Zoubi, K. Smith, C. Tiede, P. Tsalmantza)
- Treffen des LINC-NIRVANA Konsortiums, MPIA, 23.–24. Okt. (Kürster)
- Workshop »The High-energy Astrophysics of Outflows from Compact Objects«, Schloss Ringberg, 7.–13. Dez. (Ch. Fendt, J. Kirk (MPI für Kernphysik))
- Kuratorium des MPIA, Heidelberg, MPIA, 11. Dez. (Klaus Jäger)

#### Andere veranstaltete Tagungen:

- Coryn Bailer-Jones: GAIA DPAC CU8 Meeting No. 5, Bologna, 27.–29. Mai; GAIA DPAC CU8 Meeting No. 6, Brüssel, 24.–26. Nov.
- Cornelis Dullemond: Winter School »The First Stages of Planet Formation«, Bad Honnef, 18.–22. Feb. (SOC)
- Thomas Henning: IAU Symposium 251 »Organic Matter in Space«, Hong Kong, 18.–22. Feb. (SOC); First Chinese-German Workshop on Star and Planet Formation, Nanjing, 31. März.–4. Apr. (SOC); CAHA Workshop on Instrumentation, Granada, 11.–13. Juni (SOC); ETH Konferenz »Origin and Evolution of Planets«, Ascona, 29. Juni–4. Juli (SOC)
- Tom Herbst: SPIE – Astronomical Telescopes and Instrumentation, Advanced Optical and Mechanical Technologies in Telescopes and Instrumentation, Marseille, 23.–28. Juni (SOC)
- Martin Kürster: Treffen des LINC-NIRVANA Konsortiums, MPIfR Bonn, 19.–20. Feb.; LINC-NIRVANA Klausurtagung zum Thema Betriebsprozeduren, MPIfR Bonn, 20.–22. Feb.
- Ralf Launhardt: VLT Training School »Astrometry and Imaging with the Very Large Telescope Interferometer«, Keszthely (lake Balaton), Ungarn, 2.–13. Juni
- Dietrich Lemke: SPIE – Astronomical Telescopes and Instrumentation, Advanced Optical and Mechanical Technologies in Telescopes and Instrumentation, Marseille, 23.–28. Juni (Chairman, Herausgeber der Tagungsberichte)
- Fabian Walter: Konferenz »Gas and Stars in Galaxies – A Multi-Wavelength 3D Perspective«, ESO, Garching, Juli (SOC)

### Teilnahme an Tagungen, beigetragene Fachvorträge und Poster

- Cristina Afonso: PLATO (PLANetary Transits and Oscillations of stars) Space Mission Meeting, DLR, Berlin, April (Vortrag); Pan-STARRS1 Consortium Meeting, Heidelberg, 14.–18. Apr. (Vortrag); IAU Symposium no. 253, »Transiting Planets«, Boston, 19.–23. Mai (Vortrag);
- Coryn Bailer-Jones: GAIA DPAC Meeting No. 5., Cambridge, 15.–16. Jan.; Pan-STARRS Workshop, MPIA, April; GAIA DPAC Meeting No. 6., Heidelberg, 22.–23. Mai; GAIA DPAC CU8 Meeting No. 5, Bologna, 27.–29. Mai; IAU Symposium 254, »The Galaxy disk in cosmological context«, Copenhagen, Juni; GAIA DPAC Meeting No. 7, ESAC/Madrid 25.–26. Sep.; Classification and Discovery in Large Astronomical Surveys, Ringberg Castle, 14.–17. Okt. (Poster); ESLAB 2008 – Cosmic Cataclysms and Life, ESRIN/Frascati, Nov. (Vortrag); GAIA DPAC CU8 Meeting No. 6, Brüssel, 24.–26. Nov.
- Eric Bell: Pan-STARRS1 Consortium Meeting, Heidelberg, 14.–18. Apr.; Tagung »German-American Frontiers of

- Science«, Humboldt-Stiftung, Potsdam, Juni; Space Telescope A901/902 Galaxy Evolution Survey Meeting, Edinburgh, Nov.
- Arian Bik: ESO Workshop »Star Formation Across The Milky Way Galaxy«, Santiago de Chile, 3.–6. März (Vortrag);
- Stephan Birkmann: MIRI European Consortium Meeting CD Nr.12, Swedish National Space Board, Onsala, 28.–30. Mai; SPIE – Astronomical Telescopes and Instrumentation, Marseille, 23.–28. Juni (Vortrag); Konferenz »Cosmic Dust – Near and Far«, Heidelberg, 8.–12. Sep.
- Steve Boudreault: 15<sup>th</sup> Cool Star Meeting, St. Andrews, Scotland, 21.–25. Juli (Poster, with C. A. L. Bailer-Jones)
- Jeroen Bouwman: PACS Consortium Meeting Nr. 30, MPE, Garching, 24.–25. Jan.; Konferenz »Planet Formation Processes and the Development of Prebiotic Conditions«, JPL (NASA), Pasadena, 18.–21. März (Vortrag); IAU Symposium No. 253 »Transiting Planets« Cambridge, MA, 19.–23. Mai (Poster); MIRI European Consortium Meeting CD Nr. 12, Swedish National Space Board, Onsala, Sweden, 28.–30. Mai; Konferenz »Cosmic Dust – Near and Far«, Heidelberg, 8.–12. Sep.; MIRI European Consortium Meeting CD Nr. 13, Trinity College, Dublin/Irland, 17.–19. Sep.; SPITZER Conference, SSC, Pasadena, USA, 27.–30. Okt.
- Wolfgang Brandner: Pan-STARRS1 Consortium Meeting, Heidelberg, 14.–18. Apr.; Konferenz »Astronomy at High Angular Resolution«, 21.–25. Apr. (Poster); CAHA Instrumentation Workshop, 11.–13. Juni
- Mario Brix: SPIE – Astronomical Telescopes and Instrumentation, Advanced Optical and Mechanical Technologies in Telescopes and Instrumentation, Marseille, 23.–28. Juni (Poster, Vortrag)
- Leonard Burtscher: DPG-Frühjahrstagung, Freiburg, 3.–7. März (Vortrag); VLTI Training School, Keszthely, Ungarn (2.–13. Juni); IMPRS Summer School »The Art & Craft of Astronomical Instrumentation«, Heidelberg, 1.–5. Sep.
- Marcello Cacciato: Konferenz »Galactic Structure and Structure of Galaxies«, Ensenada, Mexiko, 17.–21. März (Poster)
- Joseph Carson: SUBARU SEEDS Workshop, 1. Feb. (Vortrag), IAU Symposium 253 »Transiting Planets«, Cambridge, MA, 19.–23. Mai (Poster); SPIE – Astronomical Telescopes and Instrumentation, Advanced Optical and Mechanical Technologies in Telescopes and Instrumentation, Marseille, 23.–28. Juni (Poster)
- Helmut Dannerbauer: PACS Consortium Meeting Nr. 30, MPE, Garching, 24.–25. Jan.; Konferenz »Gas and Stars in Galaxies«, ESO, Garching, 10.–13. Juni (Vortrag); Konferenz »Cosmic Dust – Near and Far«, Heidelberg, 8.–12. Sep. (Vortrag); Konferenz »Understanding Lyman-alpha Emitters«, Heidelberg, 6.–10. Okt. (Vortrag)
- Cornelis Dullemond: Winter school, Lecture on protoplanetary disks, 18.–22. Feb.; Konferenz »Astronomy at high angular resolution«
- Jelte de Jong: IAU Symposium 254: »The Milky Way Disk in Cosmological Context«, 9.–13. Juni, Copenhagen (Vortrag); Konferenz »Chemical Evolution of Dwarf Galaxies and Stellar Clusters«, 21.–25. Juli, Garching (Vortrag)
- Örs H. Detre: MIRI European Consortium Meeting CD Nr. 13, Trinity College, Dublin, Ireland, 17.–19. Sep.; JWST US/European Partners Workshop, München, 13. Okt.
- Gaelle Dumas: Konferenz »Galaxy and Stellar Dynamics 2008«, Straßburg, 16.–20. März (Vortrag); »Gas and stars in galaxies. A multi-wavelength 3D perspective«, ESO Garching, 10.–13. Juni (Vortrag)
- Markus Feldt: SPIE – Astronomical Telescopes and Instrumentation, Advanced Optical and Mechanical Technologies in Telescopes and Instrumentation, Marseille, 23.–28. Juni (Vortrag)
- Christian Fendt: Konferenz »Protostellar Jets in Context«, Rhodos, 7.–12. Juli (Vortrag); Jetset-TLS Workshop »Comparing Jet Observations and Simulations«, Tautenburg, 26.–28. Jan.
- Fabio Fontanot: Eight Italian Conference »Active Galactic Nuclei«, Turin, 19.–22. Mai (Vortrag); XXIV IAP Colloquium »Far Away – Light in the Young Universe at Redshift Beyond 3«, Paris, 7.–11. Juli (Poster); KITP Workshop »Building the Milky Way«, Santa Barbara (California), 6.–14. Nov.
- Kelly Foyle: IAU Symposium 254 »The Galaxy in the Cosmological Context«, Copenhagen, Juni (Poster)
- Wolfgang Gässler: LBT-LGS Phase A Study Preparation Meeting, Tuscon, 22.–23. Jan. (Vortrag); LINC-NIRVANA consortium meeting, Bonn, 19.–22. Feb. (Vortrag); LBT-LGS Phase A Review, Tuscon, 17.–18. März (Vortrag); ARGOS (LBT-LGS) Kick-off Meeting, Florenz, 26.–17. Mai (Vortrag); CAHA Instrumentation Workshop, Granada, 11.–13. Juni (Vortrag); SPIE – Astronomical Telescopes and Instrumentation, Advanced Optical and Mechanical Technologies in Telescopes and Instrumentation, Marseille, 23.–28. Juni (mehrere Vorträge und Poster mit Ko-Autoren); FP6-OPTICON/JRA1- General Meeting, Garching, 25.–26. Sep. (Vortrag); LINC-NIRVANA Consortium Meeting, Heidelberg, 23.–24. Okt. (Vortrag); ARGOS Meeting, Potsdam, 21.–22. Nov. (Vortrag)
- Anna Gallazzi: EARA Workshop »HERSCHEL Promises for Galaxy Evolution Studies«, Paris, 18.–19. Feb.
- Bertrand Goldman: Conference on Cool Stars No. 15, St. Andrews, Scotland, 21.–25. Juli (Poster); Konferenz »Cosmic Dust – Near And Far«, Heidelberg, 8.–12. Sep. (Poster); Konferenz »Science from UKIDSS II«, RAS London 15.–17. Dez. (Vortrag)
- Dimitrios Gouliermis: IAU Symposium No 255 »Low Metallicity Star Formation: From the First Stars to Dwarf Galaxies«, Rapallo, 16.–20. Juni (Poster); IAU Symposium No 256 »The Magellanic System: Stars, Gas, and Galaxies«, Keele University, UK, 28. Juli–1. Aug. (Vortrag); International Conference »Cosmic Dust – Near & Far«, Heidelberg, 8.–12. Sep.; International Workshop »Star-forming Dwarf Galaxies«, Kreta, 29.

- Sep.–3. Okt. (Vortrag); MPIA Planet and Star Formation Group Workshop, Maulbronn, 8.–10. Okt. (Vortrag)
- Roland Gredel: CAHA Instrumentation Workshop, Granada; 10.–13. Juni; Translucent Molecular Clouds, SAO, Russland, 4.–8. Aug.; ESO Workshop Large Programmes, ESO Garching, 13.–15. Okt.
- Ulrich Grözinger: SPICA Consortium Meeting, RAL, Didcot/UK, 30.–31. Jan.; MIRI European Consortium Meeting CD Nr. 11, PSI, Villigen/CH, 26.–28. Feb.; MIRI European Consortium Meeting CD Nr. 12, Swedish National Space Board, Onsala, 28.–30. Mai; JWST US/European Partners Workshop, München, 13. Okt.
- Martin Hennemann: MIRI European Consortium Meeting CD Nr. 11, PSI, Villigen/CH, 26.–28. Feb.; MIRI European Consortium Meeting CD Nr. 12, Swedish National Space Board, Onsala, 28.–30. Mai; Konferenz »The Early Phase of Star Formation« (EPoS), Ringberg, 28. Juli–1. Aug. (Poster); MIRI European Consortium Meeting CD Nr. 13, Trinity College, Dublin/Ireland, 17.–19. Sep.
- Tom Herbst: MICADO Team Meeting, Garching, 8. Jan. (Vortrag); LIINUS/SERPIL Meeting, Köln, 16. Jan. (Vortrag); LN Consortium Meeting, Bonn, 19. Feb. (Vortrag); LN Consortium Meeting, 20. Feb. (Vortrag); MPIA Kuratorium, 22. Feb. (Vortrag); »European ELT Re-Baselining«, Garching, 29. Feb.–4. März; ESO STC Meeting, Garching, 16. April (Vortrag); LBTB Meeting, MPIA, 29. April (Vortrag); LN Science Meeting, 8. Mai (Vortrag); LIINUS-SERPIL Meeting, 29. Mai (Vortrag); Summer School on Astrophysics, Tarquinia, 8.–11. Juni; SPIE – Astronomical Telescopes and Instrumentation, Advanced Optical and Mechanical Technologies in Telescopes and Instrumentation, Marseille, 23.–28. Juni; Second Generation Science with the LBT Ringberg, 13.–19. Juli; JENAM 2008, Wien, 8.–10. Sep.; Future Ground-Based Solar System Research, Elba, 10.–12. Sep.; LBT Board Meeting, Potsdam, 26. September (Vortrag); MICADO Team Meeting, Garching, 6. Okt. (Vortrag); ESO STC Meeting, Garching, 22. Okt. (Vortrag); LN Team Meeting, MPIA, 23. Okt. (Vortrag)
- Stefan Hippler: METIS Science meeting, Heidelberg, 13.–14. Feb.; METIS team meeting, Sterrewacht, Leiden, 9.–10. Juni; METIS progress meeting, MPIA, Heidelberg, 8. Sep.; METIS AO meeting, MPIA, Heidelberg, 9. Sep.; E-ELT AO control strategy workshop, ESO, Garching, 22. Sep.; METIS AO working plan meeting, Sterrewacht, Leiden, 16. Okt.; ATLAS (Laser Tomography Adaptive Optics) – METIS first joint meeting, ONERA, Paris, 27. Nov.; GRAVITY AO meeting, MPIA, Heidelberg, 28. Jan.; GRAVITY Kick-off meeting, MPE, Garching, 8. Juli; GRAVITY AO meeting, MPE, Garching, 10. Juli
- Ralph Hofferbert: MIRI European Consortium Meeting CD Nr. 12, Swedish National Space Board, Onsala, 28.–30. Mai; MIRI European Consortium Meeting CD Nr. 13, Trinity College, Dublin, 17.–19. Sep.
- Rory Holmes: JWST US/European Partners Workshop, München, 13. Oktober
- Felix Hormuth: Konferenz »Star Formation Across the Milky Way Galaxy«, ESO, Vitacura, Chile, 3.–6. März (Poster); Konferenz »The Universe under the Microscope – Astrophysics at High Angular Resolution«, Bad Honnef, 21.–25. April (Poster); SPIE – Astronomical Telescopes and Instrumentation, Advanced Optical and Mechanical Technologies in Telescopes and Instrumentation, Marseille, 23.–28. Juni (zwei Poster); 15<sup>th</sup>. Cool Star Meeting, St. Andrews, Scotland, 21.–25. Juli (Poster)
- Friedrich Huisken: 2<sup>nd</sup> International Conference on New Diamond and Nano Carbons (NDNC2008), Taipei, Mai 26.–29. (Poster); Konferenz »Cosmic Dust Near and Far«, Heidelberg, September 8.–12. (Poster);
- Klaus Jäger: Tagung zur Verleihung des Jugend-softwarepreises der Klaus Tschira Stiftung gGmbH, Villa Bosch, Heidelberg, 25. Jan.; Heidelberg Astronomers' Convention, Kirchhoff-Institut für Physik, Heidelberg, 26. März; Treffen des Rats Deutscher Sternwarten, Argelander-Institut für Astronomie, Bonn, 28. März; Meeting der LBT Beteiligungsgesellschaft, Heidelberg, MPIA, 29. Apr.; Tagung und Festveranstaltung »50 Jahre Max-Planck-Institut für Kernphysik« (MPIK), Heidelberg Convention Center und MPIK, 1. Okt.; Explore Science, Mannheim, 9.–11. Juni; Treffen des Rats Deutscher Sternwarten, Universitäts-Sternwarte München (6. Okt.); Interdisziplinäres Wissenschaftssymposium der Klaus Tschira Stiftung »Einschläge von Asteroiden und Kometen – Gefahr für die Erde?«, Villa Bosch, Heidelberg (13. Nov.); Festveranstaltung »30 Jahre Spektrum-Verlag«, Technikmuseum Mannheim (21. Nov.)
- Knud Jahnke: STAGES Collaboration Workshop, Obergurgl, Austria, 8.–12. Apr.; First PanSTARRS1 Science Consortium Meeting, Heidelberg, 14.–18. Apr.; COSMOS Collaboration Workshop, IAP Paris, 9.–13. Juni; Aspen Center for Physics, Workshop on Active Galactic Nuclei: The Interplay Between Supermassive Black Holes, Star Formation, and Galaxy Evolution, Aspen, USA, 14.–20. Juli.
- Sebastian Jester: »XEUS: Physics of the hot evolving Universe«, ESA-ESTEC Noordwijk, März (Poster); Konferenz »The X-ray Universe«, Granada, Mai (Vortrag); Workshop on Cosmic Reionization, Kavli Institute for Astronomy and Astrophysics/Beijing University, Juni (Vortrag)
- Wiki Joergens: Konferenz »Cool Stars No. 15«, St Andrews, Scotland, 21.–25. Juli (Poster), Konferenz »Origin and Evolution of Planets 2008«, Ascona, 29. Juni–4. Juli (Poster)
- Attila Juhsz: Konferenz »The Early Phase of Planet Formation – Wilhelm and Else Heraeus Physics School«, Bad Honnef, 18.–22. Feb. (Poster); Konferenz »Planet Formation Processes and the Development of Prebiotic Conditions«, Pasadena, 17.–21. März (Vortrag); PSF External Retreat, Maulbronn, 8.–10. Okt. (Vortrag); Konferenz »Cosmic Dust Near and Far, Heidelberg, 8.–12. Sep.« (Poster); 5<sup>th</sup> SPITZER Conference »New Light on Young Stars«, Pasadena, 26.–30. Okt. (Poster);

- Ulrich Klaas: PACS Consortium Meeting Nr. 30, MPE, Garching, 24.–25. Jan.
- Hubert Klahr: Konferenz »Planet Formation Processes and the Development of Prebiotic Environment«, Caltech Pasadena, 17.–21. März (Vortrag)
- Rainer Klement: IAU Symposium 254 »The Galaxy Disk in Cosmological Context«, Copenhagen, 9.–13. Juni (Poster); Konferenz »Back to the Galaxy II«, UC Santa Barbara, 29. Sep.–3. Okt. (Poster); GAIA CU8 Meeting No. 6, Brüssel, 25.–26. Nov.
- Sergey Koposov: Konferenz »Dark Matter on Small Scales«, Paris, 13.–15. Feb., (Vortrag); Konferenz »Building the Milky Way«, Santa Barbara, US, Okt. (Poster, Vortrag); Konferenz »Classification and Discovery in Large Astronomical Surveys«, Ringberg, Okt. (Poster)
- Oliver Krause: SPICA Consortium Meeting, RAL, Didcot/UK, 30.–31. Jan.; MIRI European Consortium Meeting CD Nr. 11, PSI, Villigen/CH, 26.–28. Feb.; MIRI European Consortium Meeting CD Nr. 12, Swedish National Space Board, Onsala, 28.–30. Mai; SPIE – Astronomical Telescopes and Instrumentation, Advanced Optical and Mechanical Technologies in Telescopes and Instrumentation, Marseille, 23.–28. Juni (Vortrag); Konferenz »Cosmic Dust – Near and Far«, Heidelberg, 8.–12. Sep. (Poster); MIRI European Consortium Meeting CD Nr. 13, Trinity College, Dublin/Ireland, 17.–19. Sep.; JWST US/European Partners Workshop, München, 13. Okt.
- Martin Kürster: Cool Stars 15, St. Andrews, Scotland, 21.–25. Juli (Poster)
- Jaron Kurk: Konferenz »Gas and Stars in Galaxies: A Multi-Wavelength 3D Perspective«, ESO, Garching, 10.–13. Juni (Vortrag); KIAA-PKU Summer School and Workshop 2008, »Cosmic Reionization – the Formation and Evolution of Stars, Galaxies and Black Holes«, 1.–11. Juli (Vortrag)
- Ralf Launhardt: SPIE – Astronomical Telescopes and Instrumentation, Advanced Optical and Mechanical Technologies in Telescopes and Instrumentation, Marseille, 23.–28. Juni (Vortrag und Poster)
- Dietrich Lemke: SPIE – Astronomical Telescopes and Instrumentation, Advanced Optical and Mechanical Technologies in Telescopes and Instrumentation, Marseille, 23.–28. Juni; JENAM, Wien, 12 September (Vortrag); Konferenz »400 Years of Astronomical Telescopes«, ESA, Noordwijk, 29. Sep.–2. Okt.
- Rainer Lenzen: METIS Science meeting, Heidelberg, 13.–14. Feb.; ARENA-Workshop »Wide field telescopes in Antarctica«, Exeter 25.–27. März; METIS team meeting, Sterrewacht, Leiden, 9.–10. Juni; METIS progress meeting, MPIA, Heidelberg, 8. Sep.; METIS team meeting, Garching, 15. Okt.; METIS first joint meeting, ONERA, Paris, 27. Nov.; GRAVITY Kick-off meeting, MPE, Garching, 8. Juli
- Hendrik Linz: Konferenz »The Universe under the Microscope – Astronomy at High Angular Resolution«, Bad Honnef, 21.–25. Apr. (Poster); Konferenz »Early Phases of Star Formation«, Ringberg (Vortrag)
- L. Ma: 2. International Workshop on Semiconducting Nanoparticles – Photovoltaics and Optoelectronics, Duisburg, 10.–12. Dez. (Vortrag)
- Andrea Macciò: »Frontiers in Computational Astrophysics: The Origin of Stars, Planets and Galaxies«, Ascona (Switzerland) 13.–18. Juli (Poster)
- Nicolas Martin: Konferenz »Galactic Structure and the Structure of Galaxies«, Ensenada, Baja California, Mexico, 17.–21. März (Vortrag); Konferenz »Chemical Evolution of Dwarf Galaxies and Stellar Clusters«, Garching, 21.–25. Juli (Vortrag); Konferenz »Back to the Galaxy II«, Kavli Institute for Theoretical Physics, Santa Barbara, California, USA, 29. Sep.–3. Okt.
- Alejo Martinez: COSMOS collaboration meeting, Institut d'Astrophysique, Paris (Vortrag); EUCLID meeting, Institut d'Astrophysique, Paris (Vortrag); Konferenz »The central kiloparsec, AGN and their hosts«, Ierapetra (Vortrag)
- Klaus Meisenheimer: Workshop »HERSCHEL Key Project Coordination and Science Exploitation«, Noordwijk 1.–2. Juli; XMS Kick-off Meeting, Durham 30 Sep.–1. Okt.; STAGES Science Meeting, Edinburgh 26.–28. Nov.
- Eva Meyer: Konferenz »Cool Stars XV«, St. Andrews, Scotland 20.–25. Juli (Poster); 5. MPIA Studenten Workshop, Munchhausen, 21.–27. Sep. (Vortrag); PSF Workshop, Maulbronn, 8.–10. Okt. (Vortrag)
- Surhud More: Workshop »Probes of Large Scale Structure«, IUCAA, Pune, India, 15.–17. Aug. (Vortrag); MPIA/LSW Hauskolloquium, Heidelberg, 27 Juni (Vortrag)
- Maximiliano Moyano: Pan-STARRS1 Science Consortium Meeting, Heidelberg, April; IAU Symposium No 253 »Transiting Planets«, Cambridge, MA, 19.–23. Mai; International Young Astronomers School »The Star and its Planetary System in the wake of Corot Advances«, Paris, 6.–10. Okt.
- Friedrich Müller: SPIE – Astronomical Telescopes and Instrumentation, Advanced Optical and Mechanical Technologies in Telescopes and Instrumentation, Marseille, 23.–28. Juni; MIRI European Consortium Meeting CD Nr. 13, Trinity College, Dublin/Ireland, 17.–19. Sep.; JWST US/European Partners Workshop, München, 13. Okt.
- Andre Müller: 8<sup>th</sup> European Symposium for the Protection of the Night Sky, Vienna (Vortrag)
- Reinhardt Mundt: Cool Stars Workshop Nr. 15, St. Andrews, Scotland, 21.–25. Juli (Vortrag, Poster)
- Markus Nielbock: PACS Consortium Meeting Nr. 30, MPE, Garching, 24.–25. Jan.; Konferenz »Star Formation Across the Milky Way galaxy«, ESO, Santiago de Chile, 3.–6. März, (zwei Poster); Konferenz »The Early Phases of Star Formation«, Schloss Ringberg, 28 Juli.–1. August (Poster); Tagung der Gesellschaft für Archäoastronomie »Maß, Zahl und Geometrie in der Vor- und Frühgeschichte – Anfänge der Mathematik und der Astronomie«, Berlin, 24.–26. Okt.
- Nikolay Nikolov: Pan-STARRS1 Science Consortium Meeting, Heidelberg, Apr.; IAU Symposium No 253 »Transiting Planets«, Cambridge, MA, 19.–23. Mai;

- International Young Astronomers School »The Star and its Planetary System in the wake of Corot Advances«, Paris, 6.–10. Okt.
- Kim Nilsson: Ultra-VISTA Survey Team Meeting, 18.–20. März, Lorentz Center, Leiden, NL (Vortrag); Light in the Young Universe at Redshift beyond Three, 7.–11. Juli, IAP Paris (Vortrag); ESO VISTA Surveys Meeting, 15.–17. Sep., ESO Garching; Understanding Lyman-alpha Emitters, 6.–10. Okt., MPIA (Vortrag)
- Jan Pitann: Konferenz »Astronomical Polarimetry«, La Malbaie, Quebec, 6.–11. Juli (Vortrag)
- Axel M. Quetz: Heidelberg Astronomers' Convention, Kirchhoff-Institut für Physik, Heidelberg, 26. März; Interdisziplinäres Wissenschaftssymposium der Klaus Tschira Stiftung »Einschläge von Asteroiden und Kometen – Gefahr für die Erde?«, Villa Bosch, Heidelberg (13. Nov.)
- Aday Robaina: Konferenz »Galaxy Evolution: Emerging Insights and Future Challenges«, Austin, Texas, 11.–14. Nov. (Vortrag); Konferenz »When the Universe Formed Stars«, Martinique, Frankreich, 17.–21. Nov. (Vortrag)
- Boyke Rochau: Konferenz »Star Formation Across The Milky Way Galaxy«, Santiago de Chile, 3.–6. März (Poster); The Seventh NEON Observing School, La Palma (Spain), 23. Juni–5. Juli; 5<sup>th</sup> MPIA Students Workshop, Munchhausen (France), 21.–27. Sep., (Vortrag); PSF Retreat 2008, Maulbronn 8.–10. Okt. (Vortrag und Podiumsdiskussion)
- G. Rouillé: Internationale Konferenz »Isolated Biomolecules and Biomolecular Interactions«, Valladolid, 13.–18. Apr. (Poster); Konferenz »Cosmic Dust Near and Far«, Heidelberg, 8.–12. Sep. (Poster)
- Christiane Ruhlmann: PS1SC meeting, Heidelberg, 14.–17. Apr.; IAU Symposium Nr. 254 »The Galaxy Disk in Cosmological Context«, Kopenhagen, 9.–13. Juni (Poster); 3<sup>rd</sup> Heidelberg Summer School »The Art & Craft of Astronomical Instrumentation«, Heidelberg, 1.–5. Sep.; MPIA Students Workshop, Munchhausen/Frankreich, 21.–27. Sep. (Vortrag); Konferenz »Back to the Galaxy II«, KITP Santa Barbara/USA, 29. Sep.–3. Okt.; XX Canary Island Winter School in Astrophysics »Local Group Cosmology«, Teneriffa, 17.–28. Nov. (Poster)
- Zsolt Sandor: 7<sup>th</sup> Alexander von Humboldt Colloquium on Celestial Mechanics »The Chaotic Dynamics of Small Bodies and Planets«, Bad Hofgastein, 30. März.–5. April (Vortrag); International Konferenz on »The Dynamics of Celestial Bodies«, Lithoro- Olympos, 23.–26. Juni (Vortrag)
- Mark Sargent: COSMOS Team Meeting, Paris, 9.–13. Juni (Vortrag); 6<sup>th</sup> IRAM Millimeter Interferometry School, Grenoble, 6.–10. Okt.
- Silvia Scheithauer: MIRI European Consortium Meeting CD Nr. 11, PSI, Villigen/CH, 26.–28. Feb.; GAMM Conference, University of Bremen, 31. März.–3. Apr. (Vortrag); SPIE – Astronomical Telescopes and Instrumentation, Advanced Optical and Mechanical Technologies in Telescopes and Instrumentation, Marseille, 23.–28. Juni; MIRI European Consortium Meeting CD Nr. 13, Trinity College, Dublin/Ireland, 17.–19. Sep.; JWST US/European Partners Workshop, München, 13. Okt.
- Eva Schinnerer: Nuclear Star Clusters across the Hubble Sequence, MPIA (Vortrag); COSMOS team meeting, Paris (Vortrag); Transformational Science with ALMA: The Birth and Feedback of Massive Star Formation Within and Beyond the Galaxy, Charlottesville (Vortrag); LINC-NIRVANA Consortium Meeting, Heidelberg, 23.–24. Okt.
- T. Schmidt: NanoLum, European Workshop on Luminescent Nano-Objects, Les Houches, 17.–20. März (Poster); DPG Summerschool »Functional Nanostructures«, Bad Honnef, 15.–19. Sep. (Poster); 2<sup>nd</sup> International Workshop on Semiconducting Nanoparticles – Photovoltaics and Optoelectronics, Duisburg, 10.–12. Dez. (Poster)
- Jürgen Schreiber: PACS Consortium Meeting Nr. 30, MPE, Garching, 24.–25. Jan.; ADASS, Quebec, Canada, 1.–6. Nov. (Poster)
- Dmitri Semenov: Konferenz »Molecular Universe«, Arcachon, 5.–8. Mai (Poster); Workshop »Physics with cold stored ion beams«, Heidelberg, 13. Juni (Vortrag); TIARA workshop »From numerical simulations to Molecular lines«, Taipei, 6.–12. Juli (Vortrag); Konferenz »Early Phases Of Star Formation (EPOS)«, Ringberg, 28. Juli–1. Aug. (Poster); Workshop »Interstellar Surfaces: from Laboratory to Models«, Leiden, 6.–10. Okt. (Vortrag); IAU Symposium 251 »Organic Matter in Space«, Hong Kong, 18.–22. Feb. (Vortrag, mit Th. Henning)
- Johny Setiawan: Interferometry Summer School, Keszthely, Ungarn 2.–13. Juni (Poster); JENAM, Wien, 8.–12. Sep. (Vortrag, Poster); PSF internal workshop, Maulbronn, 8.–10. Okt. (Vortrag)
- Aurora Sicilia-Aguilar: Konferenz »Cool Stars 15«, St. Andrews, Scotland, 21.–25. Juli (zwei Vorträge); Konferenz »Cosmic Dust Near and Far«, Heidelberg, 8.–12. Sep. (Poster)
- Rosalind Skelton: Konferenz »Galaxy Evolution: Emerging Insights and Future Challenges«, Austin, Texas, 11.–14. Nov. (Vortrag)
- Kester Smith: Workshop »Classification and Discovery with Large Astronomical Surveys«, Ringberg Castle, 14.–17. Okt. (Vortrag)
- J. Sommerfeld: NanoLum, European Workshop on Luminescent Nano-Objects, Les Houches, 17.–20. März (Poster)
- Jutta Stegmaier: SPICA Consortium Meeting, RAL, Didcot/UK, 30.–31. Jan.; SPIE – Astronomical Telescopes and Instrumentation, Advanced Optical and Mechanical Technologies in Telescopes and Instrumentation, Marseille, 23.–28. Juni (Vortrag)
- Jürgen Steinacker: Formation Process, Fragmentation, and the Origin of the IMF, and: Circumstellar Disk Physics from Low- to High-Mass Star Formation – open discussions on Molecular Clouds and on Circumstellar Disks

- at Heidelberg Astronomers' Convention (26 März); Massive Star Formation Seminar MPIA Heidelberg, 2. Apr. (Vortrag); Workshop »Cosmic Dust and Radiative Transfer«, Heidelberg, September (Vortrag)
- Micaela Stumpf: 211<sup>th</sup> Meeting of the AAS, Austin, 6.–11. Jan. (Poster); Konferenz »Cool Stars 15«, St. Andrews, UK, 20.–25. Juli (Poster)
- Christy Tremonti: Konferenz »Galaxy Evolution: Emerging Insights and Future Challenges«, Austin, Texas, 11.–14. Nov.; Workshop on the Square Kilometer Array, 17.–18. Nov. (Vortrag)
- Paraskevi Tsalmantza: International Astronomy Meeting »Probing Stellar Populations Out to the Distant Universe«, Cefalù, 7.–19. Sep. (Vortrag); Workshop »Classification and Discovery in Large Astronomical Surveys«, Schloss Ringberg, 14.–17. Okt. (Vortrag); GAIA CU8 Meeting, Brüssel, 24.–26. Nov. (Vortrag); Workshop »Fitting the spectral energy distributions of galaxies«, Leiden, 17.–21. Nov. (Vortrag)
- Roy van Boekel: Konferenz »Cosmic Dust Near and Far«, Heidelberg, Sept.; PSF group retreat, Maulbronn, 8.–10. Okt.; Progress meeting on VISIR/MIDI studies of HaeBe disks, Amsterdam, 7.–9. Dez.
- Fabian Walter: Aspen workshop »AGN: The Interplay Between Supermassive Black Holes, Star Formation and Galaxy Evolution«, 6.–27. Juli
- Xi Kang: IAU Symposium 254 »The Galaxy Disk in Cosmological Context«, 9.–13. Juni, Kopenhagen (Poster)
- Stefano Zibetti: UltraVISTA Kick-off Meeting, 18.–20. März, Leiden; Konferenz »Fitting the Spectral Energy Distribution of Galaxies«, Leiden, 17.–21. Okt. (Vortrag)
- Eingeladene Vorträge, Kolloquien**
- Coryn Bailer-Jones: University College London, Januar (Vortrag); IAU Symposium 254, Copenhagen, 9.–13. Juni (Vortrag); Max Planck Institut für Biologische Kybernetik, Nov. (Kolloquium)
- Eric Bell: University of Michigan (Kolloquium); Carnegie Observatories, Pasadena (Kolloquium); DFG's Schwerpunkt Program Summer School »Co-evolution of Galaxies and Black Holes«, Bad Honnef, 4.–8. Aug. (Vortrag); JENAM 2008, Wien, 8.–10. Sep. (Vortrag)
- Henrik Beuther: EPOS2008 »Massive Star Formation: Major Questions, Potential Answers«, Schloss Ringberg, 28. Jul – 1. Aug. (Vortrag); Universität Wien (Vortrag); Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (Kolloquium); Universität Köln (Vortrag); Universität Zürich/ETH (Vortrag)
- Kris Blindert: Konferenz »Nuclear Clusters Across the Hubble Sequence«, MPIA, 25.–27. Feb. (Vortrag)
- Steve Boudreault: University of Toronto, Graduate Student Seminars, 12. Jan. (Vortrag)
- Jeroen Bouwman: Konferenz »Silicate Dust in Protostars, Astrophysical, Experimental, and Meteoritic Links«, Tokyo, 25.–26. Juli (Vortrag); SPITZER Conference, SSC, Pasadena, 27.–30. Okt. (Vortrag)
- Marcello Cacciato: 25<sup>th</sup> LBNL, Berkeley, California, 25. März (Vortrag)
- Helmut Dannerbauer: OAMP, Marseille, Astrophysical Colloquium, 7 Nov. (Vortrag)
- Jelte de Jong: ; Konferenz »Back to the Galaxy II«, 29. Sep.–3. Okt., Santa Barbara, USA (Vortrag)
- Cornelis Dullemond: Konferenz »Astronomy at high angular resolution«, Bad Honnef 21.–25. Apr.; Conference »Origin and Evolution of Planets 2008«, Ascona, Schweiz, 29. Juni–4. Juli; Konferenz »Unstructured meshes with periodic boundaries«, 20. Okt.; 1-Day symposium on the interstellar medium, Leiden, 7. Nov.; Grenoble, LAOG, 7. Feb.; Berlin, DLR, 9. Mai
- Markus Feldt: Symposium »Grundlagenforschung im Weltraum«, München, 13. Juni (Vortrag)
- Christian Fendt: »Astrophysical Jets – Formation and Propagation«, Institute Colloquium, Lund Observatory, Lund, 15. Mai; »MHD simulations of jet formation« Haupt-Kolloquium, MPI für Radioastronomie, Bonn, 30. Mai
- Fabio Fontanot: University of Ljubljana (Slovenia), 25. März (Vortrag); ESTEC, Noordwijk, 3. Dez. (Vortrag)
- Kelly Foyle: Konferenz »Galaxy Evolution: Emerging Insights and Future Challenges«, Austin, Texas, 11.–14. Nov. (Vortrag); MPI für Astrophysik, Garching, 23. Mai (Vortrag)
- Dimitrios Gouliermis: University of Sheffield, Feb. (Kolloquium); MPIA »Galaxy Coffee«, März (Vortrag); ESA/ESTEC, Apr. (Vortrag); International Workshop Star-forming Dwarf Galaxies, Okt. (Vortrag)
- Thomas Henning: IAU Symposium 251 »Organic Matter in Space«, Hong Kong, 18.–22. Feb. (Vortrag); First Chinese-German Workshop »Star and Planet Formation, Nanjing, 31 März.–4. Apr. (Vortrag); ETH Konferenz »Origin and Evolution of Planets, Ascona, 29 Juni–4. Juli (Vortrag); Meeting »Early Phases of Star Formation«, Ringberg, 28 Juli–1. Aug. (Vortrag); »New Light on Young Stars: SPITZER's View of Circumstellar Disks«, Pasadena, 26.–30. Okt. (Vortrag); Physikalisches Kolloquium, Universität Köln, 4. Nov.; Ringvorlesung, Universität Heidelberg, 8. Dez. (Vortrag)
- Tom Herbst: Infrared Astrophysics, Tarquinia, Italien, 9. Juni (Vortrag); Natural Limits to Observations, Tarquinia, Italien, 10. Juni (Vortrag); Infrared Telescopes and Instruments, Tarquinia, Italy, 11. Juni (Vortrag); SPIE – Astronomical Telescopes and Instrumentation, Advanced Optical and Mechanical Technologies in Telescopes and Instrumentation, Marseille, 23.–28. Juni (Vortrag); Second Generation Science with the LBT, Ringberg, 15.–17. Juli (zwei Vorträge); IMPRS Summer School, Heidelberg, 1. Sep. (Vortrag); Future Ground-Based Solar System Research, Elba, 11. Sep. (Vortrag)

- Sebastian Jester: Konferenz »The High-energy Astrophysics of Outflows from Compact Objects«, Ringberg, 7.–13. Dez. (Vortrag)
- Viki Joergens: Argelander-Institut für Astronomie und MPI für Radioastronomie, Bonn, 18. Jan. (Vortrag); Hamburger Sternwarte, 24. Jan., (Vortrag); Konferenz »Cool Stars 15«, St. Andrews, Schottland, 21.–25. Juli (Vortrag)
- Hubert Klahr: Universität Tübingen, Januar (Habilitationvortrag); University of California, San Diego, März (Kolloquium); University of California, Santa Cruz, März (Kolloquium); MPIfR Bonn, Apr. (Vortrag); Konferenz »Origin and Evolution of Planets«, Ascona, 29. Juni–4. Juli (Discussion, Chair); JENAM 2008, Wien, 8.–10. Sep. (Vortrag); ENS Paris, September (Kolloquium); MPI für Dynamik und Selbstorganisation, Göttingen, Nov. (Kolloquium)
- Rainer Klement: Konferenz »Back to the Galaxy II« UC Santa Barbara, 29. September.–3. Okt. (Vortrag)
- Oliver Krause: Helsinki Observatory, Astrophysical Colloquium, 25. Aug. (Vortrag), Observatory of Turku, 28. Aug. (Kolloquium)
- Jaron Kurk: ESO Workshop on Large Programmes, Garching, 13.–15. Okt. (Vortrag)
- Martin Kürster: ESO Workshop on Large Programmes, Garching, 13.–15. Okt. (Vortrag)
- Ralf Launhardt: VLTI School, Keszthely, 2.–13. Juni, (Vortrag)
- Dietrich Lemke: »Fernrohre im Weltraum – Entdeckungen im kalten Kosmos«, Studium Generale, Universität Heidelberg, 15. Dez.; »Infrarot-Weltraumteleskope«, Studium Generale, Universität Marburg, 17. Dez.
- Hendrik Linz: MPI für Radioastronomie, Bonn, 24. Juli (Kolloquium); CSIRO ATNF Headquarters Marsfield, Sydney, 23. Sep. (Vortrag)
- Andrea Macciò: Konferenz »Dark Matter at Small Scales«, Paris, 12.–15. Feb. (Übersichtsvortrag), Hebrew University, Jerusalem, 14. Mai (Vortrag); Lausanne, EPFL, 15. Okt. (Vortrag)
- Nicolas Martin: Institute of Astronomy, Cambridge, UK, Januar (Colloquium); »Back to the Galaxy II«, Kavli Institute for Theoretical Physics, Santa Barbara, California, September (Vortrag)
- Klaus Meisenheimer: Oxford University, 10. Juni (Kolloquium)
- Kim Nilsson: Sternwarte Stockholm, Schweden, 30. Apr. (Seminar)
- Hans-Walter Rix: UC Berkeley, 6. März (Kolloquium); Institute of Geophysics and Planetary Physics at LLNL, Livermore/CA, USA, 7. März (Kolloquium); Institut für Theoretische Physik und Astrophysik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 27. Mai (Kolloquium); Institute of Astronomy Cambridge, UK, 29. Mai (Vortrag); Ringberg-Workshop »Second Generation Science with the Large Binocular Telescope«, Ringberg Castle, Tegernsee, 15. Juli (Vortrag); 3<sup>rd</sup> Sino-German Workshop on Galactic Astronomy with LAMOST, Weihai, China, 24. Juli (Vortrag); Konferenz »Back to the Galaxy II«, The Kavli Institute for Theoretical Physics, UCSB, Santa Barbara, CA, 3. Okt. (Vortrag); Festkolloquium Prof. Werner Holzmüller, Universität Leipzig, 16. Dez. (Kolloquium)
- Ralf-Rainer Rohloff: Verein für Technik-Geschichte in Jena e.V., 11. Juni (Vortrag)
- Eva Schinnerer: Kapteyn Institute, Universität Groningen University (Kolloquium)
- Johny Setiawan: Universität Jena 16. Jan. (Vortrag); Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik: 14. Feb. (Vortrag); ESA-ESTEC, 15. Feb. (Vortrag); Asian Science Camp, 3.–9. Aug. (Vortrag)
- Aurora Sicilia-Aguilar: IAA Granada, 17. Jan. (Vortrag)
- Kester Smith: ELSA School, Barcelona, 1.–5. Sep. (Vortrag)
- Jürgen Steinacker: University of Applied Sciences, Remagen, 29. Mai (Vortrag); Marie Curie Research Training Network JETSET: 5<sup>th</sup> School on High Performance Computing in Astrophysics, Galway, 9. Jan. (Vortrag)
- Christy Tremonti: Austin Konferenz »Galaxy Evolution (Vortrag); Massachusetts Institute of Technology, 18. Nov. (Kolloquium)
- Roy van Boekel: Konferenz »The Universe under the Microscope«, Bad Honnef, 21.–25. Apr. (Vortrag)
- Frank van den Bosch: University of Utah, Salt Lake City, 14. Feb. (Kolloquium); Rutgers University, Piscataway, New Jersey, 28. März (Kolloquium); University of Massachusetts, Amherst, 28. Aug. (Kolloquium); Leiden University, 13. Nov. (Kolloquium)
- Fabian Walter: NRAO, Charlottesville/USA, Mai (Kolloquium); Workshop »Gas and Stars in Galaxies – A Multi-Wavelength 3D Perspective«, Garching, 10.–13. Juni (Vortrag); Konferenz »Cosmic Dust, Near and Far«, Heidelberg, 8.–12. Sep. (Vortrag); Straßburg, Dez. (Kolloquium)
- Xi Kang: Shanghai Astronomical Observatory, 4. Juli (Vortrag)

### Vortragsreihen

- Coryn Bailer-Jones: »Introduction to Machine Learning and Pattern Recognition«, MPIA, Feb./März
- Joseph Carson: »Introduction to IDL«, MPIA, Feb. und Dez.
- Andrea Macciò: »Large Scale Structure Simulations vs. Observations«, Young Researcher Meeting, Transregio 33, Heidelberg, März
- Fabian Walter: SPP Summerschool of the DFG, Bad Honnef, Aug.
- Hans-Walter Rix: »The Milky Way in a Cosmological Context XX«. Canary Islands Winter School of Astrophysics, Teneriffa, Spanien, 17.–20. Nov.

**Populärwissenschaftliche Vorträge**

- Eric Bell: Vortrag zur Sonnenfinsternis im Eva von Tiele Winkler Kindergarten, Leimen
- Wolfgang Brandner: »Braune Zwerge – gescheiterte Sterne oder Superplaneten?«, Astronomie am Sonntag Vormittag, 1. Juni, und Freundeskreis des Planetariums Mannheim, 7. Okt.
- Helmut Dannerbauer: »Galaxienkollisionen«, Astronomie am Sonntag Vormittag, MPIA, 13. Juli
- Roland Geredel: »Die Neuen Riesenteleskope«, Gesprächskreis Rhein-Neckar, 31. Jan.; »Neue Teleskope in der bodengebundenen Astronomie«, Gymnasium Cotta, 24. Juni; »Die neuen Riesenteleskope – Giganten für den Blick ins All«, Gymnasium Dippoldiswalde, 25. Juni; »Das Large Binocular Telescope«, IMPRS Schule, Heidelberg, 1. Sep.; »Das Europäische Großteleskop E-ELT«, Planetarium Mannheim, 12. Dez.
- Christian Fendt: »Kosmische Düsentriebwerke – Jets von jungen Sternen und Schwarzen Löchern«, Planetarium Mannheim, 15. Apr., und Astronomie am Sonntagvormittag, Heidelberg, 29. Juni
- Markus Feldt: »Astronomie zum Anfassen«, Explore Science 2008, Mannheim, 11. Juni
- Kelly Foyle: MPG Workshop on Arts and Science, München, 12. Sep. (Vortrag)
- Thomas Henning: »Entstehung von Planetensystemen«, Planetarium Mannheim; »Extrasolare Planeten«, Rotary Club, Mainz
- Tom Herbst: »Building the Large Binocular Telescope«, Vortrag vor Schülern, MPIA, 21. Juli
- Klaus Jäger: »Galaxien und Terabytes – Optische Astronomie im Zeitalter moderner Großteleskope«, Astrophysik-Wochenendseminar im Bildungszentrum Butenschon-Haus in Landau (Pfalz) des »Life Science Lab« des Deutschen Krebsforschungszentrums Heidelberg (DKFZ), 8. März; »Geheimnisvolle Quasare – einem Rätsel auf der Spur«, Hauptversammlung des Vereins »Internationale Amateur-Sternwarte Gamsberg/Namibia« in Schriesheim, 19. Apr.; »Scharfe Blicke in die Tiefen des Alls – Schöne und lehrreiche Bilder von HUBBLE und Co.«, Starkenburg-Sternwarte Heppenheim, 22. Apr.; »Der Himmel im Computer – Virtuelle Planetarien«, Girls' Day, MPIA, 24. Apr.; »Geheimnisvolle Quasare – einem Rätsel auf der Spur«, Vortragsreihe »Astronomie am Sonntag Vormittag«, MPIA, 24. Mai; »Geheimnisvolle Quasare – einem Rätsel auf der Spur«, Vortrag zur zentralen Veranstaltung des 6. bundesweiten Tag der Astronomie der Vereinigung der Sternfreunde e.V., Planetarium Mannheim, 6. Sep.; »Galaxien und Terabytes – Optische Astronomie im Zeitalter moderner Großteleskope«, BOGY-Praktikum, MPIA, 20. Okt.; »Geheimnisvolle Quasare – einem Rätsel auf der Spur«, Starkenburg-Sternwarte Heppenheim, 25. Nov.; »Scharfe Blicke in die Tiefen des Alls – Schöne und lehrreiche Bilder von HUBBLE und Co.«, Fachhochschule Rüsselsheim: Rüsselsheimer Sternfreunde e.V., 12. Dez.
- Oliver Krause: »HERSCHEL und Planck – Europas neue Weltraumobservatorien«, Astronomie am Sonntag Vormittag, MPIA, 15. Juni
- Dietrich Lemke: »Zurück zum Mond«, Starkenburg Sternwarte, Heppenheim, 18. März; »Sind wir allein im Universum?«, Tagung Leiter JVA, Lüneburg, 8. Mai; »400 Jahre astronomisches Fernrohr«, Sternfreunde Nordenham, 9. Okt.; »Sind wir allein im Universum?«, Car Training Institute Conference, Berlin, 2. Dez.
- Rainer Lenzen: »Optische Großteleskope: Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft«, Schulvortrag, MPG Jahresversammlung Dresden, 26. Juni; »Hitzeabstrahlung aus dem All: Die stürmische Entwicklung der Infrarotastronomie«, Astronomie am Sonntag Vormittag, Heidelberg, Juli; »Hitzeabstrahlung aus dem All: Die stürmische Entwicklung der Infrarotastronomie«, Planetarium Mannheim, 9. Dez.
- Klaus Meisenheimer: »VLT – das größte Teleskop der Erde«, Ravensburger Teleskoptreffen, 27. Sep.
- Hans-Walter Rix: »Von der Entstehung der Galaxien und der großräumigen Verteilung der Materie«, Vortragsreihe Kosmologie- und Astrophysik, DLR, Köln-Porz, 15. Apr. und Karl Rahner Akademie, Köln, 16. Apr.; »Galaxien: ihre Entstehung aus dem 'Nichts'«, Astronomie am Sonntag Vormittag, MPIA Heidelberg, 8. Juni; »Wie es Licht wurde im Universum«, Explore Science, Mannheim, 9. Juni; »Das neue Bild der Milchstraße«, Explore Science, Mannheim, 9. Juni
- Hermann-Josef Röser: »Suche nach entfernten Galaxienhaufen«, Schulvortrag, MPG Generalversammlung in Dresden, 8. Juni; Vorstellung des MPIA bei der Sitzung des MPG-Gesamtbetriebsrates in Lüneburg (22. Juni)
- Johny Setiawan: »Planeten um junge Sterne«, Kuratorium, MPIA, 22. Feb.; »Planeten in anderen Sonnensystemen«, Astronomie am Sonntag Vormittag, 20. Juli; »Astronomy: a culture, science and philosophy for the humanity«, Asian Science Camp: 3.-9. Aug.
- Jürgen Steinacker: »Das ungelöste Rätsel der Riesensterne«, Astronomie am Sonntag Vormittag, 22. Juni, und Planetarium Mannheim, 4. Nov.
- Roy van Boekel: Vortrag im Niederländischen Kosmologieverein »Triangulum«, Heidelberg

## Veröffentlichungen

### In Zeitschriften mit Referierungssystem

- Adelman-McCarthy, J. K., M. A. Agüeros, S. S. Allam, C. Allende Prieto, K. S. J. Anderson, S. F. Anderson, J. Annis, N. A. Bahcall, C. A. L. Bailer-Jones, I. K. Baldry, J. C. Barentine, B. A. Bassett, A. C. Becker, T. C. Beers, E. F. Bell, A. A. Berlind, M. Bernardi, M. R. Blanton, J. J. Bochanski, W. N. Boroski, J. Brinchmann, J. Brinkmann, R. J. Brunner, T. Budavári, S. Carliles, M. A. Carr, F. J. Castander, D. Cinabro, R. J. Cool, K. R. Covey, I. Csabai, C. E. Cunha, J. R. A. Davenport, B. Dilday, M. Doi, D. J. Eisenstein, M. L. Evans, X. Fan, D. P. Finkbeiner, S. D. Friedman, J. A. Frieman, M. Fukugita, B. T. Gänsicke, E. Gates, B. Gillespie, K. Glazebrook, J. Gray, E. K. Grebel, J. E. Gunn, V. K. Gurbani, P. B. Hall, P. Harding, M. Harvanek, S. L. Hawley, J. Hayes, T. M. Heckman, J. S. Hendry, R. B. Hindsley, C. M. Hirata, C. J. Hogan, D. W. Hogg, J. B. Hyde, S.-i. Ichikawa, Z. Ivezic, S. Jester, J. A. Johnson, A. M. Jorgensen, M. Juric, S. M. Kent, R. Kessler, S. J. Kleinman, G. R. Knapp, R. G. Kron, J. Krzesinski, N. Kuropatkin, D. Q. Lamb, H. Lampeitl, S. Lebedeva, Y. S. Lee, R. F. Leger, S. Lépine, M. Lima, H. Lin, D. C. Long, C. P. Loomis, J. Loveday, R. H. Lupton, O. Malanushenko, V. Malanushenko, R. Mandelbaum, B. Margon, J. P. Marriner, D. Martínez-Delgado, T. Matsubara, P. M. McGehee, T. A. McKay, A. Meiksin, H. L. Morrison, J. A. Munn, R. Nakajima, E. H. Neilsen, Jr., H. J. Newberg, R. C. Nichol, T. Nicinski, M. Nieto-Santisteban, A. Nitta, S. Okamura, R. Owen, H. Oyaizu, N. Padmanabhan, K. Pan, C. Park, J. Peoples, Jr., J. R. Pier, A. C. Pope, N. Purger, M. J. Raddick, P. Re Fiorentin, G. T. Richards, M. W. Richmond, A. G. Riess, H.-W. Rix, C. M. Rockosi, M. Sako, D. J. Schlegel, D. P. Schneider, M. R. Schreiber, A. D. Schwobe, U. Seljak, B. SESAR, E. Sheldon, K. Shimasaku, T. Sivarani, J. A. Smith, S. A. Snedden, M. Steinmetz, M. A. Strauss, M. SubbaRao, Y. Suto, A. S. Szalay, I. Szapudi, P. Szkody, M. Tegmark, A. R. Thakar, C. A. Tremonti, D. L. Tucker, A. Uomoto, D. E. Vanden Berk, J. Vandenberg, S. Vidrih, M. S. Vogeley, W. Voges, N. P. Vogt, Y. Wadadekar, D. H. Weinberg, A. A. West, S. D. M. White, B. C. Wilhite, B. Yanny, D. R. Yocum, D. G. York, I. Zehavi, D. B. Zucker: The Sixth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 175, 297-313 (2008)
- Allende Prieto, C., T. Sivarani, T. C. Beers, Y. S. Lee, L. Koesterke, M. Shetrone, C. Sneden, D. L. Lambert, R. Wilhelm, C. M. Rockosi, D. K. Lai, B. Yanny, I. I. Ivans, J. A. Johnson, W. Aoki, C. A. L. Bailer-Jones, P. Re Fiorentin: The Segue Stellar Parameter Pipeline. III. Comparison with high-resolution spectroscopy of SDSS/SEGUE field stars. *The Astronomical Journal* 136, 2070-2082 (2008)
- Andersen, D. R., C. J. Walcher, T. Böker, L. C. Ho, R. P. van der Marel, H.-W. Rix, J. C. Shields: Caught in formation: The nuclear-cluster-to-Be in NGC 2139. *The Astrophysical Journal* 688, 990-999 (2008)
- Ao, Y., A. Weiß, D. Downes, F. Walter, C. Henkel, K. M. Menten: The CO line SED and atomic carbon in IRAS F10214+4724. *Astronomy and Astrophysics* 491, 747-754 (2008)
- Apai, D., M. Janson, A. Moro-Martín, M. R. Meyer, E. E. Mamajek, E. Masciadri, T. Henning, I. Pascucci, J. S. Kim, L. A. Hillenbrand, M. Kasper, B. Biller: A survey for massive giant planets in debris disks with evacuated inner cavities. *The Astrophysical Journal* 672, 1196-1201 (2008)
- Aravena, M., F. Bertoldi, E. Schinnerer, A. Weiss, K. Jahnke, C. L. Carilli, D. Frayer, C. Henkel, M. Brusa, K. M. Menten, M. Salvato, V. Smolcic: Properties of the molecular gas in a starbursting QSO at  $z = 1.83$  in the COSMOS field. *Astronomy and Astrophysics* 491, 173-181 (2008)
- Araya, E., P. Hofner, S. Kurtz, L. Olmi, H. Linz: Thermal methanol observations of the outflow from the G31.41+0.31 hot molecular core. *The Astrophysical Journal* 675, 420-426 (2008)
- Araya, E. D., P. Hofner, W. M. Goss, H. Linz, S. Kurtz, L. Olmi: A Search for H<sub>2</sub>CO 6 cm emission toward young stellar objects. III. VLA observations. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 178, 330-338 (2008)
- Bailer-Jones, C. A. L.: Correlated spectral variability in brown dwarfs. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 384, 1145-1157 (2008)
- Bailer-Jones, C. A. L., K. W. Smith, C. Tiede, R. Sordo, A. Vallenari: Finding rare objects and building pure samples: probabilistic quasar classification from low-resolution GAIA spectra. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 391, 1838-1853 (2008)
- Barden, M., K. Jahnke, B. Häußler: FERENGI: redshifting galaxies from SDSS to GEMS, STAGES, and COSMOS. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 175, 105-115 (2008)
- Bell, E. F.: Galaxy bulges and their black holes: a requirement for the quenching of star formation. *The Astrophysical Journal* 682, 355-360 (2008)
- Bell, E. F., D. B. Zucker, V. Belokurov, S. Sharma, K. V. Johnston, J. S. Bullock, D. W. Hogg, K. Jahnke, J. T. A. de Jong, T. C. Beers, N. W. Evans, E. K. Grebel, Z. Ivezic, S. E. Koposov, H.-W. Rix, D. P. Schneider, M. Steinmetz, A. Zolotov: The accretion origin of the Milky Way's stellar halo. *The Astrophysical Journal* 680, 295-311 (2008)
- Bellazzini, M., R. A. Ibata, S. C. Chapman, A. D. Mackey, L. Monaco, M. J. Irwin, N. F. Martin, G. F. Lewis, E. Dalessandro: The nucleus of the Sagittarius Dwarf galaxy and M 54: a window on the process of galaxy nucleation. *The Astronomical Journal* 136, 1147-1170 (2008)
- Belokurov, V., M. G. Walker, N. W. Evans, D. C. Faria, G. Gilmore, M. J. Irwin, S. Koposov, M. Mateo, E. Olszewski, D. B. Zucker: Leo V: a companion of a com-

- panion of the Milky Way Galaxy? *The Astrophysical Journal* 686, L83-L86 (2008)
- Beuther, H., H. D. Nissen: Identifying the outflow driving sources in Orion-KL. *The Astrophysical Journal* 679, L121-L124 (2008)
- Beuther, H., D. Semenov, T. Henning, H. Linz: Ethynyl ( $C_2H$ ) in massive star formation: tracing the initial conditions? *The Astrophysical Journal* 675, L33-L36 (2008)
- Beuther, H., A. J. Walsh: Kinematics of a hot massive accretion disk candidate. *The Astrophysical Journal* 673, L55-L58 (2008)
- Beuther, H., A. J. Walsh, S. Thorwirth, Q. Zhang, T. R. Hunter, S. T. Megeath, K. M. Menten: ATCA 3 mm observations of NGC 6334I and I(N): dense cores, outflows, and an UCH II region. *Astronomy and Astrophysics* 481, 169-181 (2008)
- Bigiel, F., A. Leroy, F. Walter, E. Brinks, W. J. G. de Blok, B. Madore, M. D. Thornley: The star formation law in nearby galaxies on sub-kpc scales. *The Astronomical Journal* 136, 2846-2871 (2008)
- Boersma, C., J. Bouwman, F. Lahuis, C. van Kerckhoven, A. G. G. M. Tielens, L. B. F. M. Waters, T. Henning: The characteristics of the IR emission features in the spectra of Herbig Ae stars: evidence for chemical evolution. *Astronomy and Astrophysics* 484, 241-249 (2008)
- Böker, T., J. Falcón-Barroso, E. Schinnerer, J. H. Knapen, S. Ryder: A Sinfoni view of galaxy centers: morphology and kinematics of five nuclear star-formation rings. *The Astronomical Journal* 135, 479-495 (2008)
- Bolatto, A. D., A. K. Leroy, E. Rosolowsky, F. Walter, L. Blitz: The resolved properties of extragalactic giant molecular clouds. *The Astrophysical Journal* 686, 948-965 (2008)
- Bondi, M., P. Ciliegi, E. Schinnerer, V. Smolcic, K. Jahnke, C. Carilli, G. Zamorani: The VLA-COSMOS Survey. III. Further catalog analysis and the radio source counts. *The Astrophysical Journal* 681, 1129-1135 (2008)
- Bouwman, J., T. Henning, L. A. Hillenbrand, M. R. Meyer, I. Pascucci, J. Carpenter, D. Hines, J. S. Kim, M. D. Silverstone, D. Hollenbach, S. Wolf: The formation and evolution of planetary systems: Grain growth and chemical processing of dust in T Tauri systems. *The Astrophysical Journal* 683, 479-498 (2008)
- Bouy, H., E. L. Martín, W. Brandner, T. Forveille, X. Delfosse, N. Huéramo, G. Basri, J. Girard, M. R. Zapatero Osorio, M. Stumpf, A. Ghez, L. Valdivielso, F. Marchis, A. J. Burgasser, K. Cruz: Follow-up observations of binary ultra-cool dwarfs. *Astronomy and Astrophysics* 481, 757-767 (2008)
- Brandner, W., J. S. Clark, A. Stolte, R. Waters, I. Negueruela, S. P. Goodwin: Intermediate to low-mass stellar content of Westerlund 1. *Astronomy and Astrophysics* 478, 137-149 (2008)
- Brauer, F., C. P. Dullemond, T. Henning: Coagulation, fragmentation and radial motion of solid particles in protoplanetary disks. *Astronomy and Astrophysics* 480, 859-877 (2008)
- Brauer, F., T. Henning, C. P. Dullemond: Planetesimal formation near the snow line in MRI-driven turbulent protoplanetary disks. *Astronomy and Astrophysics* 487, L1-L4 (2008)
- Brown, J. M., G. A. Blake, C. Qi, C. P. Dullemond, D. J. Wilner: LkHa 330: evidence for dust clearing through resolved submillimeter imaging. *The Astrophysical Journal* 675, L109-L112 (2008)
- Brunner, G., K. Sheth, L. Armus, M. Wolfire, S. Vogel, E. Schinnerer, G. Helou, R. Dufour, J.-D. Smith, D. A. Dale: Warm molecular gas in M 51: mapping the excitation temperature and mass of  $H_2$  with the SPITZER Infrared Spectrograph. *The Astrophysical Journal* 675, 316-329 (2008)
- Byule, P., S. De Rijcke, V. P. Debattista, I. Ferreras, A. Pasquali, A. Seth, L. Morelli: Radio continuum observations of the candidate supermassive black hole in the dwarf elliptical VCC 128. *The Astrophysical Journal* 685, 915-918 (2008)
- Caballero, J. A.: Stars and brown dwarfs in the s Orionis cluster: the Mayrit catalogue. *Astronomy and Astrophysics* 478, 667-674 (2008)
- Caballero, J. A.: Spatial distribution of stars and brown dwarfs in s Orionis. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 383, 375-382 (2008)
- Caballero, J. A., A. J. Burgasser, R. Klement: Contamination by field late-M, L, and T dwarfs in deep surveys. *Astronomy and Astrophysics* 488, 181-190 (2008)
- Caballero, J. A., E. Solano: Young stars and brown dwarfs surrounding Alnilam ( $\epsilon$  Orionis) and Mintaka ( $\delta$  Orionis). *Astronomy and Astrophysics* 485, 931-949 (2008)
- Caldwell, J. A. R., D. H. McIntosh, H.-W. Rix, M. Barden, S. V. W. Beckwith, E. F. Bell, A. Borch, C. Heymans, B. Häußler, K. Jahnke, S. Joglee, K. Meisenheimer, C. Y. Peng, S. F. Sánchez, R. S. Somerville, L. Wisotzki, C. Wolf: GEMS survey data and catalog. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 174, 136-144 (2008)
- Campbell, M. F., T. K. Sridharan, H. Beuther, J. H. Lacy, J. L. Hora, Q. Zhu, M. Kassis, M. Saito, J. M. De Buizer, S. H. Fung, L. C. Johnson: Mid-infrared photometry and spectra of three high-mass protostellar candidates at IRAS 18151-1208 and IRAS 20343+4129. *The Astrophysical Journal* 673, 954-967 (2008)
- Capak, P., C. L. Carilli, N. Lee, T. Aldcroft, H. Aussel, E. Schinnerer, G. W. Wilson, M. S. Yun, A. Blain, M. Giavalisco, O. Ilbert, J. Kartaltepe, K. S. Lee, H. McCracken, B. Mobasher, M. Salvato, S. Sasaki, K. S. Scott, K. Sheth, Y. Shioya, D. Thompson, M. Elvis, D. B. Sanders, N. Z. Scoville, Y. Taniguchi: Spectroscopic confirmation of an extreme starburst at redshift 4.547. *The Astrophysical Journal* 681, L53-L56 (2008)
- Carilli, C. L., N. Lee, P. Capak, E. Schinnerer, K. S. Lee, H. McCracken, M. S. Yun, N. Scoville, V. Smolcic, M. Giavalisco, A. Datta, Y. Taniguchi, C. M. Urry: Star formation rates in Lyman break galaxies: radio stacking of LBGs in the COSMOS field and the Sub-mJy radio

- source population. *The Astrophysical Journal* 689, 883-888 (2008)
- Carilli, C. L., F. Walter, R. Wang, A. Wootten, K. Menten, F. Bertoldi, E. Schinnerer, P. Cox, A. Beelen, A. Omont: Studying the first galaxies with ALMA. *Astrophysics and Space Science* 313, 307-311 (2008)
- Carmona, A., M. E. van den Ancker, T. Henning, M. Goto, D. Fedele, B. Stecklum: A search for near-infrared molecular hydrogen emission in the CTTS LkHa 264 and the debris disk 49 Ceti. *Astronomy and Astrophysics* 478, 795-795 (2008)
- Carmona, A., M. E. van den Ancker, T. Henning, Y. Pavlyuchenkov, C. P. Dullemond, M. Goto, W. F. Thi, J. Bouwman, L. B. F. M. Waters: A search for mid-infrared molecular hydrogen emission from protoplanetary disks. *Astronomy and Astrophysics* 477, 839-852 (2008)
- Carpenter, J. M., J. Bouwman, M. D. Silverstone, J. S. Kim, J. Stauffer, M. Cohen, D. C. Hines, M. R. Meyer, N. Crockett: The formation and evolution of planetary systems: description of the SPITZER Legacy Science database. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 179, 423-450 (2008)
- Casey, C. M., C. D. Impey, C. E. Petry, A. R. Marble, R. Davé:  $\text{Pc } 1643+4631\text{A, b}$ : the Lyman- $\alpha$  forest at the edge of coherence. *The Astronomical Journal* 136, 181-196 (2008)
- Casey, C. M., C. D. Impey, J. R. Trump, J. Gabor, R. G. Abraham, P. Capak, N. Z. Scoville, M. Brusa, E. Schinnerer: Optical selection of faint active galactic nuclei in the COSMOS field. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 177, 131-147 (2008)
- Cassata, P., A. Cimatti, J. Kurk, G. Rodighiero, L. Pozzetti, M. Bolzonella, E. Daddi, M. Mignoli, S. Berta, M. Dickinson, A. Franceschini, C. Halliday, A. Renzini, P. Rosati, G. Zamorani: GMASS ultra-deep spectroscopy of galaxies at  $z \sim 2$ . III. The emergence of the color bimodality at  $z \sim 2$ . *Astronomy and Astrophysics* 483, L39-L42 (2008)
- Chapman, S. C., R. Ibata, M. Irwin, A. Koch, B. Letarte, N. Martin, M. Collins, G. F. Lewis, A. McConnachie, J. Peñarrubia, R. M. Rich, D. Trethewey, A. Ferguson, A. Huxor, N. Tanvir: The kinematic footprints of five stellar streams in Andromeda's halo. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 390, 1437-1452 (2008)
- Chapman, S. C., R. Neri, F. Bertoldi, I. Smail, T. R. Greve, D. Trethewey, A. W. Blain, P. Cox, R. Genzel, R. J. Ivison, A. Kovacs, A. Omont, A. M. Swinbank: Interferometric CO observations of submillimeter-faint, radio-selected starburst galaxies at  $z \sim 2$ . *The Astrophysical Journal* 689, 889-896 (2008)
- Chen, X., T. L. Bourke, R. Launhardt, T. Henning: SMA CO (2-1) observations of CG 30: A protostellar binary system with a high-velocity quadrupolar molecular outflow. *The Astrophysical Journal* 686, L107-L110 (2008)
- Chen, X., R. Launhardt, T. L. Bourke, T. Henning, P. J. Barnes: ATCA and SPITZER observations of the binary protostellar systems CG 30 and BHR 71. *The Astrophysical Journal* 683, 862-875 (2008)
- Cimatti, A., P. Cassata, L. Pozzetti, J. Kurk, M. Mignoli, A. Renzini, E. Daddi, M. Bolzonella, M. Brusa, G. Rodighiero, M. Dickinson, A. Franceschini, G. Zamorani, S. Berta, P. Rosati, C. Halliday: GMASS ultra-deep spectroscopy of galaxies at  $z \sim 2$ . II. Superdense passive galaxies: how did they form and evolve? *Astronomy and Astrophysics* 482, 21-42 (2008)
- Clark, D. M., S. S. Eikenberry, B. R. Brandl, J. C. Wilson, J. C. Carson, C. P. Henderson, T. L. Hayward, D. J. Barry, A. F. Ptak, E. J. M. Colbert: A first estimate of the X-ray binary frequency as a function of star cluster mass in a single galactic system. *The Astrophysical Journal* 678, 798-803 (2008)
- Coleman, M. G., J. T. A. de Jong: A deep survey of the Fornax dSph. I. Star formation history. *The Astrophysical Journal* 685, 933-946 (2008)
- Comeron, F., A. Pasquali, F. Figueras, J. Torra: The outskirts of Cygnus OB2. *Astronomy and Astrophysics* 486, 453-466 (2008)
- Cox, T. J., P. Jonsson, R. S. Somerville, J. R. Primack, A. Dekel: The effect of galaxy mass ratio on merger-driven starbursts. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 384, 386-409 (2008)
- Crapsi, A., E. F. van Dishoeck, M. R. Hogerheijde, K. M. Pontoppidan, C. P. Dullemond: Characterizing the nature of embedded young stellar objects through silicate, ice and millimeter observations. *Astronomy and Astrophysics* 486, 245-254 (2008)
- Crida, A., Z. Sándor, W. Kley: Influence of an inner disc on the orbital evolution of massive planets migrating in resonance. *Astronomy and Astrophysics* 483, 325-337 (2008)
- D'Angelo, C., D. Giannios, C. Dullemond, H. Spruit: Soft X-ray components in the hard state of accreting black holes. *Astronomy and Astrophysics* 488, 441-450 (2008)
- D'Odorico, V., M. Bruscoli, F. Saitta, F. Fontanot, M. Viel, S. Cristiani, P. Monaco: The quasar proximity effect at redshift  $\langle z \rangle \sim 2.6$  with the From Lines to Overdensities approach. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 389, 1727-1738 (2008)
- Da Costa, G. S., M. G. Coleman: A spectroscopic survey for  $w$  Centauri members at and beyond the cluster tidal radius. *The Astronomical Journal* 136, 506-517 (2008)
- Daddi, E., H. Dannerbauer, D. Elbaz, M. Dickinson, G. Morrison, D. Stern, S. Ravindranath: Vigorous star formation with low efficiency in massive disk galaxies at  $z = 1.5$ . *The Astrophysical Journal* 673, L21-L24 (2008)
- Dai, X., P. M. Garnavich, J. L. Prieto, K. Z. Stanek, C. S. Kochanek, J. Bechtold, N. Bouche, P. Buschkamp, E. Diolaiti, X. Fan, E. Giallongo, R. Gredel, J. M. Hill, L. Jiang, C. McClelland, P. Milne, F. Pedichini, R. W. Pogge, R. Ragazzoni, J. Rhoads, R. Smareglia, D. Thompson, R. M. Wagner: Go long, go deep: finding optical jet breaks for Swift-era GRBs with the LBT. *The Astrophysical Journal* 682, L77-L80 (2008)
- Dale, D. A., A. Gil de Paz, K. D. Gordon, H. M. Hanson, L. Armus, G. J. Bendo, L. Bianchi, M. Block, S. Boissier, A. Boselli, B. A. Buckalew, V. Buat, D. Burgarella, D.

- Calzetti, J. M., Cannon, C. W., Engelbracht, G., Helou, D., J. Hollenbach, T. H. Jarrett, R. C. Kennicutt, C. Leitherer, A. Li, B. F. Madore, M. J. Meyer, E. J. Murphy, M. W. Regan, H. Roussel, J. D. T. Smith, M. L. Sosey, D. A. Thilker, F. Walter: Erratum: »An Ultraviolet-to-Radio Broadband Spectral ATLAS of Nearby Galaxies« *The Astrophysical Journal* 672, 735-736 (2008)
- Dannerbauer, H., F. Walter, G. Morrison: Interferometric detections of GOODS 850-5 at 1 mm and 1.4 GHz. *The Astrophysical Journal* 673, L127-L130 (2008)
- de Blok, W. J. G., F. Walter, E. Brinks, C. Trachternach, S. H. Oh, R. C. Kennicutt: High-resolution rotation curves and galaxy mass models from Things. *The Astronomical Journal* 136, 2648-2719 (2008)
- de Jong, J. T. A., J. Harris, M. G. Coleman, N. F. Martin, E. F. Bell, H. W. Rix, J. M. Hill, E. D. Skillman, D. J. Sand, E. W. Olszewski, D. Zaritsky, D. Thompson, E. Giallongo, R. Ragazzoni, A. DiPaola, J. Farinato, V. Testa, J. Bechtold: The structural properties and star formation history of Leo T from deep LBT photometry. *The Astrophysical Journal* 680, 1112-1119 (2008)
- de Jong, J. T. A., K. H. Kuijken, P. Héraudeau: Ground-based variability surveys towards Centaurus A: worthwhile or not? *Astronomy and Astrophysics* 478, 755-762 (2008)
- de Jong, J. T. A., H. W. Rix, N. F. Martin, D. B. Zucker, A. E. Dolphin, E. F. Bell, V. Belokurov, N. W. Evans: Numerical color-magnitude diagram analysis of Sloan Digital Sky Survey data and application to the New Milky Way satellites. *The Astronomical Journal* 135, 1361-1383 (2008)
- Dominik, C., C. P. Dullemond: Coagulation of small grains in disks: the influence of residual infall and initial small-grain content. *Astronomy and Astrophysics* 491, 663-670 (2008)
- Dong, H., D. Calzetti, M. Regan, D. Thilker, L. Bianchi, G. R. Meurer, F. Walter: SPITZER observations of star formation in the extreme outer disk of M 83 (NGC 5236). *The Astronomical Journal* 136, 479-497 (2008)
- Dullemond, C., Y. Pavlyuchenkov, D. Apai, K. Pontoppidan: Structure and evolution of protoplanetary disks. *Journal of Physics Conference Series* 131, 02018 1-9 (2008)
- Dullemond, C. P., C. Dominik: Size-sorting dust grains in the surface layers of protoplanetary disks. *Astronomy and Astrophysics* 487, 205-209 (2008)
- Dumas, G., C. G. Mundell, E. Emsellem, N. Nagar: The role of the host galaxy kinematics on nuclear activity. *Astronomische Nachrichten* 329, 908 (2008)
- Dutrey, A., S. Guilloteau, V. Piétu, E. Chapillon, F. Gueth, T. Henning, R. Launhardt, Y. Pavlyuchenkov, K. Schreyer, D. Semenov: Cavities in inner disks: the GM Aurigae case. *Astronomy and Astrophysics* 490, L15-L18 (2008)
- Elias, N. M., II: Photon orbital angular momentum in astronomy. *Astronomy and Astrophysics* 492, 883-922 (2008)
- Elias, N. M., II, R. H. Koch, R. J. Pfeiffer: Polarimetric measures of selected variable stars. *Astronomy and Astrophysics* 489, 911-921 (2008)
- Endl, M., M. Kürster: Toward detection of terrestrial planets in the habitable zone of our closest neighbor: proxima Centauri. *Astronomy and Astrophysics* 488, 1149-1153 (2008)
- Ernst, A., A. Just, R. Spurzem, O. Porth: Escape from the vicinity of fractal basin boundaries of a star cluster. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 383, 897-906 (2008)
- Faltenbacher, A., Y. P. Jing, C. Li, S. Mao, H. J. Mo, A. Pasquali, F. C. van den Bosch: Spatial and kinematic alignments between central and satellite halos. *The Astrophysical Journal* 675, 146-155 (2008)
- Faure, C., J.-P. Kneib, G. Covone, L. Tasca, A. Leauthaud, P. Capak, K. Jahnke, V. Smolcic, S. de la Torre, R. Ellis, A. Finoguenov, A. Koekemoer, O. Le Fevre, R. Massey, Y. Mellier, A. Refregier, J. Rhodes, N. Scoville, E. Schinnerer, J. Taylor, L. Van Waerbeke, J. Walcher: First catalog of strong lens candidates in the COSMOS field. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 176, 19-38 (2008)
- Fedele, D., M. E. van den Ancker, B. Acke, G. van der Plas, R. van Boekel, M. Wittkowski, T. Henning, J. Bouwman, G. Meeus, P. Rafanelli: The structure of the protoplanetary disk surrounding three young intermediate mass stars. II. Spatially resolved dust and gas distribution. *Astronomy and Astrophysics* 491, 809-820 (2008)
- Federrath, C., R. S. Klessen, W. Schmidt: The density probability distribution in compressible isothermal turbulence: solenoidal versus compressive forcing. *The Astrophysical Journal* 688, L79-L82 (2008)
- Fendt, C., E. Memola: Formation of relativistic MHD jets: stationary state solutions and numerical simulations. *International Journal of Modern Physics D* 17, 1677-1686 (2008)
- Foyle, K., S. Courteau, R. J. Thacker: An N-body/SPH study of isolated galaxy mass density profiles. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 386, 1821-1844 (2008)
- Frey, S., L. I. Gurvits, Z. Paragi, L. Mosoni, M. A. Garrett, S. T. Garrington: Deep extragalactic VLBI-optical survey (DEVOS). II. Efficient VLBI detection of SDSS quasars. *Astronomy and Astrophysics* 477, 781-787 (2008)
- Gallazzi, A., J. Brinchmann, S. Charlot, S. D. M. White: A census of metals and baryons in stars in the local Universe. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 383, 1439-1458 (2008)
- Geach, J. E., I. Smail, P. N. Best, J. Kurk, M. Casali, R. J. Ivison, K. Coppin: HiZELS: a high-redshift survey of H $\alpha$  emitters – I. The cosmic star formation rate and clustering at  $z = 2.23$ . *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 388, 1473-1486 (2008)
- Geißler, K., G. Chauvin, M. F. Sterzik: Mid-infrared imaging of brown dwarfs in binary systems. *Astronomy and Astrophysics* 480, 193-198 (2008)
- Giocoli, C., G. Tormen, F. C. van den Bosch: The population of dark matter subhaloes: mass functions and

- average mass-loss rates. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 386, 2135-2144 (2008)
- Goerdt, T., B. Moore, S. Kazantzidis, T. Kaufmann, A. V. Macciò, J. Stadel: The formation of ultra-compact dwarf galaxies and nucleated dwarf galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 385, 2136-2142 (2008)
- Goldman, B., H. Bouy, M. R. Zapatero Osorio, M. B. Stumpf, W. Brandner, T. Henning: Binarity at the L/T brown dwarf transition. Adaptive optics search for companions. *Astronomy and Astrophysics* 490, 763-768 (2008)
- Goldman, B., M. C. Cushing, M. S. Marley, É. Artigau, K. S. Baliyan, V. J. S. Béjar, J. A. Caballero, N. Chanover, M. Connelley, R. Doyon, T. Forveille, S. Ganesh, C. R. Gelino, H. B. Hammel, J. Holtzman, S. Joshi, U. C. Joshi, S. K. Leggett, M. C. Liu, E. L. Martín, V. Mohan, D. Nadeau, R. Sagar, D. Stephens: CLOUDS search for variability in brown dwarf atmospheres. Infrared spectroscopic time series of L/T transition brown dwarfs. *Astronomy and Astrophysics* 487, 277-292 (2008)
- Goto, M., T. Usuda, T. Nagata, T. R. Geballe, B. J. McCall, N. Indriolo, H. Suto, T. Henning, C. P. Morong, T. Oka: Absorption line survey of H+3 toward the Galactic center sources. II. Eight infrared sources within 30 pc of the Galactic center. *The Astrophysical Journal* 688, 306-319 (2008)
- Gouliermis, D. A., Y.-H. Chu, T. Henning, W. Brandner, R. A. Gruendl, E. Hennekemper, F. Hormuth: NGC 346 in the Small Magellanic Cloud. IV. Triggered star formation in the H II region N66. *The Astrophysical Journal* 688, 1050-1059 (2008)
- Greve, T. R., A. Pope, D. Scott, R. J. Ivison, C. Borys, C. J. Conselice, F. Bertoldi: A 1200-mm MAMBO survey of the GOODS-N field: a significant population of submillimetre dropout galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 389, 1489-1506 (2008)
- Greve, T. R., J. Sommer-Larsen: CO line emission from Lyman break galaxies. Cosmological simulations and predictions for ALMA. *Astronomy and Astrophysics* 480, 335-338 (2008)
- Güdel, M., K. R. Briggs, T. Montmerle, M. Audard, L. Rebull, S. L. Skinner: Million-degree plasma pervading the extended Orion Nebula. *Science* 319, 309-312 (2008)
- Güdel, M., S. L. Skinner, M. Audard, K. R. Briggs, S. Cabrit: Discovery of a bipolar X-ray jet from the T Tauri star DG Tauri. *Astronomy and Astrophysics* 478, 797-807 (2008)
- Gurney, M., R. Plume, D. Johnstone: Molecular tracers of embedded star formation in Ophiuchus. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 120, 1193-1206 (2008)
- Gustafsson, M., L. Labadie, T. M. Herbst, M. Kasper: Spatially resolved H<sub>2</sub> emission from the disk around T Tau N. *Astronomy and Astrophysics* 488, 235-244 (2008)
- Haan, S., E. Schinnerer, C. G. Mundell, S. García-Burillo, F. Combes: Atomic hydrogen properties of active galactic nuclei host galaxies: H I in 16 nuclei of galaxies (NUGA) sources. *The Astronomical Journal* 135, 232-257 (2008)
- Halliday, C., E. Daddi, A. Cimatti, J. Kurk, A. Renzini, M. Mignoli, M. Bolzonella, L. Pozzetti, M. Dickinson, G. Zamorani, S. Berta, A. Franceschini, P. Cassata, G. Rodighiero, P. Rosati: GMSS ultradeep spectroscopy of galaxies at  $z \sim 2$ . I. The stellar metallicity. *Astronomy and Astrophysics* 479, 417-425 (2008)
- Hatch, N. A., R. A. Overzier, H. J. A. Röttgering, J. D. Kurk, G. K. Miley: Diffuse UV light associated with the Spiderweb Galaxy: evidence for in situ star formation outside galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 383, 931-942 (2008)
- Heithausen, A., C. Böttner, F. Walter: Chemical and physical small-scale structure in a pre-stellar core. *Astronomy and Astrophysics* 488, 597-603 (2008)
- Hennekemper, E., D. A. Gouliermis, T. Henning, W. Brandner, A. E. Dolphin: NGC 346 in the Small Magellanic Cloud. III. Recent star formation and stellar clustering properties in the bright H II region N 66. *The Astrophysical Journal* 672, 914-929 (2008)
- Hennemann, M., S. M. Birkmann, O. Krause, D. Lemke: An infrared-submillimeter study of starforming regions selected by the ISOSS 170 mm survey. *Astronomy and Astrophysics* 485, 753-763 (2008)
- Herbst, W., C. M. Hamilton, K. Leduc, J. N. Winn, C. M. Johns-Krull, R. Mundt, M. Ibrahimov: Reflected light from sand grains in the terrestrial zone of a protoplanetary disk. *Nature* 452, 194-197 (2008)
- Heymans, C., M. E. Gray, C. Y. Peng, L. van Waerbeke, E. F. Bell, C. Wolf, D. Bacon, M. Balogh, F. D. Barazza, M. Barden, A. Böhm, J. A. R. Caldwell, B. Häußler, K. Jahnke, S. Jogee, E. van Kampen, K. Lane, D. H. McIntosh, K. Meisenheimer, Y. Mellier, S. F. Sánchez, A. N. Taylor, L. Wisotzki, X. Zheng: The dark matter environment of the Abell 901/902 supercluster: a weak lensing analysis of the HST STAGES survey. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 385, 1431-1442 (2008)
- Hieronymus, C. F., S. Goes, M. Sargent, G. Morra: A dynamical model for generating Eurasian lithospheric stress and strain rate fields: effect of rheology and cratons. *Journal of Geophysical Research (Solid Earth)* 113, 07404 (2008)
- Hillenbrand, L. A., J. M. Carpenter, J. S. Kim, M. R. Meyer, D. E. Backman, A. Moro-Martín, D. J. Hollenbach, D. C. Hines, I. Pascucci, J. Bouwman: The complete Census of 70 mm-bright debris disks within »the formation and evolution of planetary systems« SPITZER Legacy Survey of Sun-like stars. *The Astrophysical Journal* 677, 630-656 (2008)
- Hunt, L. K., F. Combes, S. García-Burillo, E. Schinnerer, M. Krips, A. J. Baker, F. Boone, A. Eckart, S. Léon, R. Neri, L. J. Tacconi: Molecular gas in Nuclei of GALaxies (NUGA). IX. The decoupled bars and gas inflow in

- NGC 2782. *Astronomy and Astrophysics* 482, 133-150 (2008)
- Husemann, B., L. Wisotzki, S. F. Sánchez, K. Jahnke: Extended emission-line regions in low-redshift quasars. Dependence on nuclear spectral properties. *Astronomy and Astrophysics* 488, 145-149 (2008)
- Inada, N., M. Oguri, R. H. Becker, M.-S. Shin, G. T. Richards, J. F. Hennawi, R. L. White, B. Pindor, M. A. Strauss, C. S. Kochanek, D. E. Johnston, M. D. Gregg, I. Kayo, D. Eisenstein, P. B. Hall, F. J. Castander, A. Clocchiatti, S. F. Anderson, D. P. Schneider, D. G. York, R. Lupton, K. Chiu, Y. Kawano, R. Scranton, J. A. Frieman, C. R. Keeton, T. Morokuma, H.-W. Rix, E. L. Turner, S. Burles, R. J. Brunner, E. S. Sheldon, N. A. Bahcall, F. Masataka: The Sloan Digital Sky Survey quasar lens search. II. Statistical lens sample from the Third Data Release. *The Astronomical Journal* 135, 496-511 (2008)
- Ivezic, Z., B. SESAR, M. Juric, N. Bond, J. Dalcanton, C. M. Rockosi, B. Yanny, H. J. Newberg, T. C. Beers, C. Allende Prieto, R. Wilhelm, Y. S. Lee, T. Sivarani, J. E. Norris, C. A. L. Bailer-Jones, P. Re Fiorentin, D. Schlegel, A. Uomoto, R. H. Lupton, G. R. Knapp, J. E. Gunn, K. R. Covey, J. A. Smith, G. Miknaitis, M. Doi, M. Tanaka, M. Fukugita, S. Kent, D. Finkbeiner, J. A. Munn, J. R. Pier, T. Quinn, S. Hawley, S. Anderson, F. Kiuchi, A. Chen, J. Bushong, H. Sohi, D. Haggard, A. Kimball, J. Barentine, H. Brewington, M. Harvanek, S. Kleinman, J. Krzesinski, D. Long, A. Nitta, S. Snedden, B. Lee, H. Harris, J. Brinkmann, D. P. Schneider, D. G. York: The milky way tomography with SDSS. II. Stellar metallicity. *The Astrophysical Journal* 684, 287-325 (2008)
- Iverson, R. J., G. E. Morrison, A. D. Biggs, I. Smail, S. P. Willner, M. A. Gurwell, T. R. Greve, J. A. Stevens, M. L. N. Ashby: Interferometric imaging of the high-redshift radio galaxy, 4C60.07: an SMA, SPITZER and VLA study reveals a binary AGN/starburst. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 390, 1117-1126 (2008)
- Jäger, C., H. Mutschke, T. Henning, F. Huisken: Spectral properties of gas-phase condensed fullerene-like carbon nanoparticles from far-ultraviolet to infrared wavelengths. *The Astrophysical Journal* 689, 249-259 (2008)
- Janson, M., W. Brandner, T. Henning: Integral field spectroscopy of L449-1. A test case for spectral differential imaging with SINFONI. *Astronomy and Astrophysics* 478, 597-603 (2008)
- Janson, M., S. Reffert, W. Brandner, T. Henning, R. Lenzen, S. Hippler: A comprehensive examination of the  $\epsilon$  Eridani system. Verification of a 4 micron narrow-band high-contrast imaging approach for planet searches. *Astronomy and Astrophysics* 488, 771-780 (2008)
- Jester, S.: Retardation magnification and the appearance of relativistic jets. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 389, 1507-1520 (2008)
- Jethava, N. N., M. J. Hardcastle, T. J. Ponman, I. Sakellou: Shock heating in the group atmosphere of the radio galaxy B2 0838+32A. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 391, 1052-1062 (2008)
- Jiang, L., X. Fan, J. Annis, R. H. Becker, R. L. White, K. Chiu, H. Lin, R. H. Lupton, G. T. Richards, M. A. Strauss, S. Jester, D. P. Schneider: A survey of  $z \sim 6$  quasars in the Sloan Digital Sky Survey Deep Stripe. I. a Flux-Limited Sample at  $z_{AB} < 21$ . *The Astronomical Journal* 135, 1057-1066 (2008)
- Joergens, V.: Binary frequency of very young brown dwarfs at separations smaller than 3 AU. *Astronomy and Astrophysics* 492, 545-555 (2008)
- Johansen, A., F. Brauer, C. Dullemond, H. Klahr, T. Henning: A coagulation-fragmentation model for the turbulent growth and destruction of preplanetesimals. *Astronomy and Astrophysics* 486, 597-611 (2008)
- Johansen, A., Y. Levin: High accretion rates in magnetised Keplerian discs mediated by a Parker instability driven dynamo. *Astronomy and Astrophysics* 490, 501-514 (2008)
- Kang, X., F. C. van den Bosch: New constraints on the efficiencies of ram pressure stripping and the tidal disruption of satellite galaxies. *The Astrophysical Journal* 676, L101-L104 (2008)
- Kim, Y., G. H. Rieke, O. Krause, K. Misselt, R. Indebetouw, K. E. Johnson: Structure of the interstellar medium around Cas A. *The Astrophysical Journal* 678, 287-296 (2008)
- Klahr, H., A. Johansen: Gravoturbulent planetesimal formation. *Physica Scripta Volume T* 130, 4018 (2008)
- Klement, R., B. Fuchs, H. W. Rix: Identifying stellar streams in the First RAVE Public Data Release. *The Astrophysical Journal* 685, 261-271 (2008)
- Kniazev, A. Y., S. A. Pustilnik, D. B. Zucker: Spectroscopy of two PN candidates in IC10. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 384, 1045-1052 (2008)
- Koch, A., R. M. Rich, D. B. Reitzel, N. F. Martin, R. A. Ibata, S. C. Chapman, S. R. Majewski, M. Mori, Y.-S. Loh, J. C. Ostheimer, M. Tanaka: Kinematic and chemical constraints on the formation of M 31's inner and outer halo. *The Astrophysical Journal* 689, 958-982 (2008)
- Köhler, R., R. Neuhäuser, S. Krämer, C. Leinert, T. Ott, A. Eckart: Multiplicity of young stars in and around R Coronae Australis. *Astronomy and Astrophysics* 488, 997-1006 (2008)
- Köhler, R., T. Ratzka, T. M. Herbst, M. Kasper: Orbits and masses in the T Tauri system. *Astronomy and Astrophysics* 482, 929-938 (2008)
- Koposov, S., V. Belokurov, N. W. Evans, P. C. Hewett, M. J. Irwin, G. Gilmore, D. B. Zucker, H. W. Rix, M. Fellhauer, E. F. Bell, E. V. Glushkova: The luminosity function of the Milky Way satellites. *The Astrophysical Journal* 686, 279-291 (2008)
- Koposov, S. E., E. V. Glushkova, I. Y. Zolotukhin: Automated search for Galactic star clusters in large multiband surveys. I. Discovery of 15 new open clusters in the Galactic anticenter region. *Astronomy and Astrophysics* 486, 771-777 (2008)
- Körding, E. G., S. Jester, R. Fender: Measuring the accretion rate and kinetic luminosity functions of supermassive

- black holes. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 383, 277-288 (2008)
- Kóspál, Á., P. Ábrahám, D. Apai, D. R. Ardila, C. A. Grady, T. Henning, A. Juhász, D. W. Miller, A. Moór: High-resolution polarimetry of Parsamian 21: revealing the structure of an edge-on FUOri disc. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 383, 1015-1028 (2008)
- Kowalski, M., D. Rubin, G. Aldering, R. J. Agostinho, A. Amadon, R. Amanullah, C. Balland, K. Barbary, G. Blanc, P. J. Challis, A. Conley, N. V. Connolly, R. Covarrubias, K. S. Dawson, S. E. Deustua, R. Ellis, S. Fabbro, V. Fadeyev, X. Fan, B. Farris, G. Folatelli, B. L. Frye, G. Garavini, E. L. Gates, L. Germany, G. Goldhaber, B. Goldman, A. Goobar, D. E. Groom, J. Haissinski, D. Hardin, I. Hook, S. Kent, A. G. Kim, R. A. Knop, C. Lidman, E. V. Linder, J. Mendez, J. Meyers, G. J. Miller, M. Moniez, A. M. Mourão, H. Newberg, S. Nobili, P. E. Nugent, R. Pain, O. Perdereau, S. Perlmutter, M. M. Phillips, V. Prasad, R. Quimby, N. Regnault, J. Rich, E. P. Rubenstein, P. Ruiz-Lapuente, F. D. Santos, B. E. Schaefer, R. A. Schommer, R. C. Smith, A. M. Soderberg, A. L. Spadafora, L. G. Strolger, M. Strovink, N. B. Suntzeff, N. Suzuki, R. C. Thomas, N. A. Walton, L. Wang, W. M. Wood-Vasey, J. L. Yun: Improved cosmological constraints from new, old, and combined supernova data sets. *The Astrophysical Journal* 686, 749-778 (2008)
- Krause, O., S. M. Birkmann, T. Usuda, T. Hattori, M. Goto, G. H. Rieke, K. A. Misselt: The Cassiopeia A Supernova Was of Type IIb. *Science* 320, 1195- (2008)
- Krause, O., M. Tanaka, T. Usuda, T. Hattori, M. Goto, S. Birkmann, K. Nomoto: Tycho Brahe's 1572 supernova as a standard type Ia as revealed by its light-echo spectrum. *Nature* 456, 617-619 (2008)
- Kristensen, L. E., T. L. Ravkilde, G. Pineau Des Forêts, S. Cabrit, D. Field, M. Gustafsson, S. Diana, J. L. Lemaire: Observational 2D model of H<sub>2</sub> emission from a bow shock in the Orion Molecular Cloud. *Astronomy and Astrophysics* 477, 203-211 (2008)
- Kürster, M., M. Endl, S. Reffert: A probable close brown dwarf companion to GJ 1046 (M 2.5V). *Astronomy and Astrophysics* 483, 869-874 (2008)
- Kutdemir, E., B. L. Ziegler, R. F. Peletier, C. Da Rocha, T. Kronberger, W. Kapferer, S. Schindler, A. Böhm, K. Jäger, H. Kuntschner, M. Verdugo: Internal kinematics of spiral galaxies in distant clusters. III. Velocity fields from FORS2/MXU spectroscopy. *Astronomy and Astrophysics* 488, 117-131 (2008)
- Labadie, L., P. Kern, P. Labeye, E. Lecoarer, C. Vigreux-Bercovici, A. Pradel, J. E. Broquin, V. Kirschner: Technology challenges for space interferometry: The option of mid-infrared integrated optics. *Advances in Space Research* 41, 1975-1982 (2008)
- Lee, Y. S., T. C. Beers, T. Sivarani, C. Allende Prieto, L. Koesterke, R. Wilhelm, P. Re Fiorentin, C. A. L. Bailer-Jones, J. E. Norris, C. M. Rockosi, B. Yanny, H. J. Newberg, K. R. Covey, H.-T. Zhang, A. L. Luo: The Segue Stellar Parameter Pipeline. I. Description and comparison of individual methods. *The Astronomical Journal* 136, 2022-2049 (2008)
- Lee, Y. S., T. C. Beers, T. Sivarani, J. A. Johnson, D. An, R. Wilhelm, C. Allende Prieto, L. Koesterke, P. Re Fiorentin, C. A. L. Bailer-Jones, J. E. Norris, B. Yanny, C. Rockosi, H. J. Newberg, K. M. Cudworth, K. Pan: The Segue Stellar Parameter Pipeline. II. Validation with galactic globular and open clusters. *The Astronomical Journal* 136, 2050-2069 (2008)
- Lehmer, B. D., W. N. Brandt, D. M. Alexander, E. F. Bell, A. E. Hornschemeier, D. H. McIntosh, F. E. Bauer, R. Gilli, V. Mainieri, D. P. Schneider, J. D. Silverman, A. T. Steffen, P. Tozzi, C. Wolf: Tracing the mass-dependent star formation history of late-type galaxies using X-Ray emission: results from the CHANDRA Deep Fields. *The Astrophysical Journal* 681, 1163-1182 (2008)
- Leroy, A. K., F. Walter, E. Brinks, F. Bigiel, W. J. G. de Blok, B. Madore, M. D. Thornley: The star formation efficiency in nearby galaxies: measuring where gas forms stars effectively. *The Astronomical Journal* 136, 2782-2845 (2008)
- Li, J. Z., M. D. Smith, R. Gredel, C. J. Davis, T. A. Rector: The Rosette Eye: the key transition phase in the birth of a massive star. *The Astrophysical Journal* 679, L101-L104 (2008)
- Lisenfeld, U., C. G. Mundell, E. Schinnerer, P. N. Appleton, J. Allsopp: Molecular gas and dust in Arp 94: the formation of a recycled galaxy in an interacting system. *The Astrophysical Journal* 685, 181-193 (2008)
- Lunine, J. I., D. Fischer, H. B. Hammel, T. Henning, L. Hillenbrand, J. Kasting, G. Laughlin, B. Macintosh, M. Marley, G. Melnick, D. Monet, C. Noecker, S. Peale, A. Quirrenbach, S. Seager, J. N. Winn: Worlds beyond: a strategy for the detection and characterization of exoplanets executive summary of a report of the exoplanet task force astronomy and Astrophysics Advisory Committee Washington, DC June 23, 2008. *Astrobiology* 8, 875-881 (2008)
- Lyra, W., A. Johansen, H. Klahr, N. Piskunov: Global magnetohydrodynamical models of turbulence in protoplanetary disks. I. A cylindrical potential on a Cartesian grid and transport of solids. *Astronomy and Astrophysics* 479, 883-901 (2008)
- Lyra, W., A. Johansen, H. Klahr, N. Piskunov: Embryos grown in the dead zone. Assembling the first protoplanetary cores in low mass self-gravitating circumstellar disks of gas and solids. *Astronomy and Astrophysics* 491, L41-L44 (2008)
- Macciò, A. V., A. A. Dutton, F. C. van den Bosch: Concentration, spin and shape of dark matter haloes as a function of the cosmological model: WMAP1, WMAP3 and WMAP5 results. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 391, 1940-1954 (2008)
- Martin, F. C., F. Huisken, C. v. Borczyskowski: Electron-phonon coupling and localization of excitons in single silicon nanocrystals. *NANO Letters* 8, 656-660 (2008)

- Martin, N. F., M. G. Coleman, J. T. A. De Jong, H.-W. Rix, E. F. Bell, D. J. Sand, J. M. Hill, D. Thompson, V. Burwitz, E. Giallongo, R. Ragazzoni, E. Diolaiti, F. Gasparo, A. Grazian, F. Pedichini, J. Bechtold: A deep Large Binocular Telescope view of the Canes Venatici I dwarf galaxy. *The Astrophysical Journal* 672, L13-L16 (2008)
- Martin, N. F., J. T. A. de Jong, H.-W. Rix: A comprehensive maximum likelihood analysis of the structural properties of faint Milky Way satellites. *The Astrophysical Journal* 684, 1075-1092 (2008)
- Martín-Hernández, N. L., A. Bik, E. Puga, D. E. A. Nürnberger, L. Bronfman: Spatially resolved near-infrared spectroscopy of the massive star-forming region IRAS 19410+2336. *Astronomy and Astrophysics* 489, 229-243 (2008)
- Martin-Zaïdi, C., M. Deleuil, J. Le Bourlot, J. C. Bouret, A. Roberge, C. P. Dullemond, L. Testi, P. D. Feldman, A. Lecavelier Des Etangs, A. Vidal-Madjar: Molecular hydrogen in the circumstellar environments of Herbig Ae/Be stars probed by FUSE. *Astronomy and Astrophysics* 484, 225-239 (2008)
- Martínez-Delgado, D., J. Peñarrubia, R. J. Gabany, I. Trujillo, S. R. Majewski, M. Pohlen: The ghost of a dwarf galaxy: fossils of the hierarchical formation of the nearby spiral galaxy NGC 5907. *The Astrophysical Journal* 689, 184-193 (2008)
- Martínez-Sansigre, A., M. Lacy, A. Sajina, S. Rawlings: Mid-infrared spectroscopy of high-redshift obscured quasars. *The Astrophysical Journal* 674, 676-685 (2008)
- Maschietto, F., N. A. Hatch, B. P. Venemans, H. J. A. Röttgering, G. K. Miley, R. A. Overzier, M. A. Dopita, P. R. Eisenhardt, J. D. Kurk, G. R. Meurer, L. Pentericci, P. Rosati, S. A. Stanford, W. van Breugel, A. W. Zirm: [OIII] emitters in the field of the MRC0316-257 protocluster. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 389, 1223-1232 (2008)
- McConnachie, A. W., A. Huxor, N. F. Martin, M. J. Irwin, S. C. Chapman, G. Fahlman, A. M. N. Ferguson, R. A. Ibata, G. F. Lewis, H. Richer, N. R. Tanvir: A trio of new local group galaxies with extreme properties. *The Astrophysical Journal* 688, 1009-1020 (2008)
- McIntosh, D. H., Y. Guo, J. Hertzberg, N. Katz, H. J. Mo, F. C. van den Bosch, X. Yang: Ongoing assembly of massive galaxies by major merging in large groups and clusters from the SDSS. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 388, 1537-1556 (2008)
- Meijer, J., C. Dominik, A. de Koter, C. P. Dullemond, R. van Boekel, L. B. F. M. Waters: A parameter study of self-consistent disk models around Herbig Ae/Be stars. *Astronomy and Astrophysics* 492, 451-461 (2008)
- Meisenheimer, K.: Studies of active galactic nuclei with the VLT interferometer. *New Astronomy Review* 52, 323-338 (2008)
- Menut, J. L., B. Valat, B. Lopez, F. X. Schmider, F. Vakili, S. Jankov, Y. Bresson, S. Lagarde, R. G. Petrov, A. Domiciano, L. Mosoni, W. C. Danchi: An alternative approach for imaging in optical interferometry. *The Astrophysical Journal* 686, 1514-1522 (2008)
- Meyer, M. R., J. M. Carpenter, E. E. Mamajek, L. A. Hillenbrand, D. Hollenbach, A. Moro-Martín, J. S. Kim, M. D. Silverstone, J. Najita, D. C. Hines, I. Pascucci, J. R. Stauffer, J. Bouwman, D. E. Backman: Evolution of mid-infrared excess around Sun-like stars: constraints on models of terrestrial planet formation. *The Astrophysical Journal* 673, L181-L184 (2008)
- Mignone, C., M. Bartelmann: Model-independent determination of the cosmic expansion rate. I. Application to type-Ia supernovae. *Astronomy and Astrophysics* 481, 295-303 (2008)
- Mutschke, H., S. Zeidler, T. Posch, F. Kerschbaum, A. Baier, T. Henning: Far-infrared spectra of hydrous silicates at low temperatures. Providing laboratory data for HERSCHEL and ALMA. *Astronomy and Astrophysics* 492, 117-125 (2008)
- Neichel, B., F. Hammer, M. Puech, H. Flores, M. Lehnert, A. Rawat, Y. Yang, R. Delgado, P. Amram, C. Balkowski, C. CESarsky, H. Dannerbauer, I. Fuentes-Carrera, B. Guiderdoni, A. Kembhavi, Y. C. Liang, N. Nesvadba, G. Östlin, L. Pozzetti, C. D. Ravikumar, S. di Serego Alighieri, D. Vergani, J. Vernet, H. Wozniak: IMAGES. II. A surprisingly low fraction of undisturbed rotating spiral disks at  $z \sim 0.6$  The morpho-kinematical relation 6 Gyr ago. *Astronomy and Astrophysics* 484, 159-172 (2008)
- Nielbock, M., R. Chini, V. H. Hoffmeister, D. E. A. Nürnberger, C. M. Scheyda, J. Steinacker: Probing the centre of the large circumstellar disc in M 17. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 388, 1031-1036 (2008)
- Nielsen, E. L., L. M. Close, B. A. Biller, E. Masciadri, R. Lenzen: Constraints on extrasolar planet populations from VLT NACO/SDI and MMT SDI and direct adaptive optics imaging surveys: giant planets are rare at large separations. *The Astrophysical Journal* 674, 466-481 (2008)
- Oguri, M., N. Inada, M. A. Strauss, C. S. Kochanek, G. T. Richards, D. P. Schneider, R. H. Becker, M. Fukugita, M. D. Gregg, P. B. Hall, J. F. Hennawi, D. E. Johnston, I. Kayo, C. R. Keeton, B. Pindor, M.-S. Shin, E. L. Turner, R. L. White, D. G. York, S. F. Anderson, N. A. Bahcall, R. J. Brunner, S. Burles, F. J. Castander, K. Chiu, A. Clocchiatti, D. Eisenstein, J. A. Frieman, Y. Kawano, R. Lupton, T. Morokuma, H.-W. Rix, R. Scranton, E. S. Sheldon: The Sloan Digital Sky Survey quasar lens search. III. Constraints on dark energy from the Third Data Release Quasar Lens Catalog. *The Astronomical Journal* 135, 512-519 (2008)
- Oh, S.-H., W. J. G. de Blok, F. Walter, E. Brinks, R. C. Kennicutt: High-resolution dark matter density profiles of things dwarf galaxies: correcting for noncircular motions. *The Astronomical Journal* 136, 2761-2781 (2008)
- Ohnaka, K., H. Izumiura, C. Leinert, T. Driebe, G. Weigelt, M. Wittkowski: Asymmetric silicate dust distribution toward the silicate carbon star BM Geminorum. *Astronomy and Astrophysics* 490, 173-178 (2008)

- Overzier, R. A., R. J. Bouwens, N. J. G. Cross, B. P. Venemans, G. K. Miley, A. W. Zirm, N. Benítez, J. P. Blakeslee, D. Coe, R. Demarco, H. C. Ford, N. L. Homeier, G. D. Illingworth, J. D. Kurk, A. R. Martel, S. Mei, I. Oliveira, H. J. A. Röttgering, Z. I. Tsvetanov, W. Zheng: Lyman Break galaxies, Ly $\alpha$  emitters, and a radio galaxy in a protocluster at  $z = 4.1$ . *The Astrophysical Journal* 673, 143-162 (2008)
- Pascucci, I., D. Apai, E. E. Hardegree-Ullman, J. S. Kim, M. R. Meyer, J. Bouwman: Medium-separation binaries do not affect the first steps of planet formation. *The Astrophysical Journal* 673, 477-486 (2008)
- Pasquali, A., P. Castangia: Dissecting the star formation history of starburst galaxies: the case of NGC 7673. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 385, 468-480 (2008)
- Pasquali, A., A. Leroy, H. W. Rix, F. Walter, T. Herbst, E. Giallongo, R. Ragazzoni, A. Baruffolo, R. Speziali, J. Hill, G. Beccari, N. Bouché, P. Buschkamp, C. Kochanek, E. Skillman, J. Bechtold: The Large Binocular Telescope panoramic view of the recent star formation activity in IC 2574. *The Astrophysical Journal* 687, 1004-1018 (2008)
- Pavlyuchenkov, Y., D. Wiebe, B. Shustov, T. Henning, R. Launhardt, D. Semenov: Molecular emission line formation in prestellar cores. *The Astrophysical Journal* 689, 335-350 (2008)
- Peter, D., M. Feldt, B. Dorner, T. Henning, S. Hippler, J. Aceituno: PYRAMIR: calibration and operation of a pyramid near-infrared wavefront sensor. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 120, 872-886 (2008)
- Pierini, D., S. Zibetti, F. Braglia, H. Böhringer, A. Finoguenov, P. D. Lyman, Y. Y. Zhang: Diffuse stellar emission in X-ray luminous galaxy clusters at  $z \sim 0.3$ . I. Is the diffuse optical light boosted and rejuvenated in merging clusters? *Astronomy and Astrophysics* 483, 727-739 (2008)
- Pinte, C., D. L. Padgett, F. Ménard, K. R. Stapelfeldt, G. Schneider, J. Olofsson, O. Panic, J. C. Augereau, G. Duchêne, J. Krist, K. Pontoppidan, M. D. Perrin, C. A. Grady, J. Kessler-Silacci, E. F. van Dishoeck, D. Lommen, M. Silverstone, D. C. Hines, S. Wolf, G. A. Blake, T. Henning, B. Stecklum: Probing dust grain evolution in IM Lupi's circumstellar disc. Multi-wavelength observations and modelling of the dust disc. *Astronomy and Astrophysics* 489, 633-650 (2008)
- Pizzella, A., D. Tamburro, E. M. Corsini, F. Bertola: Detection of non-ordered central gas motions in a sample of four low surface brightness galaxies. *Astronomy and Astrophysics* 482, 53-58 (2008)
- Polletta, M., A. Omont, S. Berta, J. Bergeron, C. S. Stalin, P. Petitjean, M. Giorgetti, G. Trinchieri, R. Srianand, H. J. McCracken, Y. Pei, H. Dannerbauer: Obscured and powerful AGN and starburst activities at  $z \sim 3.5$ . *Astronomy and Astrophysics* 492, 81-92 (2008)
- Pope, A., R. S. Bussmann, A. Dey, N. Meger, D. M. Alexander, M. Brodwin, R.-R. Chary, M. E. Dickinson, D. T. Frayer, T. R. Greve, M. Huynh, L. Lin, G. Morrison, D. Scott, C.-H. Yan: The nature of faint SPITZER-selected dust-obscured galaxies. *The Astrophysical Journal* 689, 127-133 (2008)
- Prieto, J. L., M. D. Kistler, T. A. Thompson, H. Yüksel, C. S. Kochanek, K. Z. Stanek, J. F. Beacom, P. Martini, A. Pasquali, J. Bechtold: Discovery of the dust-enshrouded progenitor of SN 2008S with SPITZER. *The Astrophysical Journal* 681, L9-L12 (2008)
- Protopapa, S., H. Boehnhardt, T. M. Herbst, D. P. Cruikshank, W. M. Grundy, F. Merlin, C. B. Olkin: Surface characterization of Pluto and Charon by L and M band spectra. *Astronomy and Astrophysics* 490, 365-375 (2008)
- Puech, M., H. Flores, F. Hammer, Y. Yang, B. Neichel, M. Lehnert, L. Chemin, N. Nesvadba, B. Epinat, P. Amram, C. Balkowski, C. CESarsky, H. Dannerbauer, S. di Serego Alighieri, I. Fuentes-Carrera, B. Guiderdoni, A. Kembhavi, Y. C. Liang, G. Östlin, L. Pozzetti, C. D. Ravikumar, A. Rawat, D. Vergani, J. Vernet, H. Wozniak: IMAGES. III. The evolution of the near-infrared Tully-Fisher relation over the last 6 Gyr. *Astronomy and Astrophysics* 484, 173-187 (2008)
- Qiu, K., Q. Zhang, S. T. Megeath, R. A. Gutermuth, H. Beuther, D. S. Shepherd, T. K. Sridharan, L. Testi, C. G. De Pree: SPITZER IRAC and MIPS imaging of clusters and outflows in nine high-mass star forming regions. *The Astrophysical Journal* 685, 1005-1025 (2008)
- Raban, D., B. Heijligers, H. Röttgering, K. Meisenheimer, W. Jaffe, H. U. Käufl, T. Henning: The core flux of the brightest 10 mm galaxies in the southern sky. *Astronomy and Astrophysics* 484, 341-345 (2008)
- Reipurth, B., M. Nielbock: Low mass star formation in the norma cloud. In: *Handbook of Star Forming Regions Vol. II: The Southern Sky, Monograph, Vol. 5*, (Ed.) Reipurth, B. ASP Books, 2008, 381-387
- Rich, J. W., W. J. G. de Blok, T. J. Cornwell, E. Brinks, F. Walter, I. Bagetakos, R. C. Kennicutt: Multi-scale CLEAN: a comparison of its performance against classical CLEAN on galaxies using THINGS. *The Astronomical Journal* 136, 2897-2920 (2008)
- Riechers, D. A., F. Walter, B. J. Brewer, C. L. Carilli, G. F. Lewis, F. Bertoldi, P. Cox: A molecular Einstein ring at  $z = 4.12$ : imaging the dynamics of a quasar host galaxy through a cosmic lens. *The Astrophysical Journal* 686, 851-858 (2008)
- Riechers, D. A., F. Walter, C. L. Carilli, F. Bertoldi, E. Momjian: Formation of a quasar host galaxy through a wet merger 1.4 billion years after the big bang. *The Astrophysical Journal* 686, L9-L12 (2008)
- Rigby, J. R., D. Marcillac, E. Egami, G. H. Rieke, J. Richard, J. P. Kneib, D. Fadda, C. N. A. Willmer, C. Borys, P. P. van der Werf, P. G. Pérez-González, K. K. Knudsen, C. Papovich: Mid-infrared spectroscopy of lensed galaxies at  $1 < z < 3$ : the nature of sources near the MIPS confusion limit. *The Astrophysical Journal* 675, 262-280 (2008)
- Robberto, M., L. Ricci, N. Da Rio, D. R. Soderblom: Evidence for a photoevaporated circumbinary disk in Orion. *The Astrophysical Journal* 687, L83-L86 (2008)

- Robles, J. A., C. H. Lineweaver, D. Grether, C. Flynn, C. A. Egan, M. B. Pracy, J. Holmberg, E. Gardner: A comprehensive comparison of the sun to other stars: searching for self-selection effects. *The Astrophysical Journal* 684, 691-706 (2008)
- Rodler, F., M. Kürster, T. Henning: HD 75289Ab revisited. Searching for starlight reflected from a hot Jupiter. *Astronomy and Astrophysics* 485, 859-864 (2008)
- Rodón, J. A., H. Beuther, S. T. Megeath, F. F. S. van der Tak: Millimeter interferometry of W3 IRS5: a trapezium in the making. *Astronomy and Astrophysics* 490, 213-222 (2008)
- Rodrigues, M., F. Hammer, H. Flores, M. Puech, Y. C. Liang, I. Fuentes-Carrera, N. Nesvadba, M. Lehnert, Y. Yang, P. Amram, C. Balkowski, C. CESARsky, H. Dannerbauer, R. Delgado, B. Guiderdoni, A. Kembhavi, B. Neichel, G. Östlin, L. Pozzetti, C. D. Ravikumar, A. Rawat, S. di Serego Alighieri, D. Vergani, J. Vernet, H. Wozniak: IMAGES IV: strong evolution of the oxygen abundance in gaseous phases of intermediate mass galaxies from  $z \sim 0.8$ . *Astronomy and Astrophysics* 492, 371-388 (2008)
- Rouillé, G., C. Jäger, M. Steglich, F. Huisken, T. Henning, G. Theumer, I. Bauer, H. J. Knölker: IR, Raman, and UV/Vis spectra of corannulene for use in possible interstellar identification. *ChemPhysChem* 9, 2085-291 (2008)
- Sabbi, E., M. Sirianni, A. Nota, M. Tosi, J. Gallagher, L. J. Smith, L. Angeretti, M. Meixner, M. S. Oey, R. Walterbos, A. Pasquali: The stellar mass distribution in the giant star forming region NGC 346. *The Astronomical Journal* 135, 173-181 (2008)
- Sakelliou, I., M. J. Hardcastle, N. N. Jetha: 3C40 in Abell194: can tail radio galaxies exist in a quiescent cluster? *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 384, 87-93 (2008)
- Schartmann, M., K. Meisenheimer, M. Camenzind, S. Wolf, K. R. W. Tristram, T. Henning: Three-dimensional radiative transfer models of clumpy tori in Seyfert galaxies. *Astronomy and Astrophysics* 482, 67-80 (2008)
- Schawinski, K., S. Justham, C. Wolf, P. Podsiadlowski, M. Sullivan, K. C. Steenbrugge, T. Bell, H.-J. Röser, E. S. Walker, P. Astier, D. Balam, C. Balland, R. Carlberg, A. Conley, D. Fouchez, J. Guy, D. Hardin, I. Hook, D. A. Howell, R. Pain, K. Perrett, C. Pritchett, N. Regnault, S. K. Yi: Supernova shock breakout from a red supergiant. *Science* 321, 223-226 (2008)
- Schejgerer, A. A., S. Wolf, T. Ratzka, C. Leinert: The T Tauri star RY Tauri as a case study of the inner regions of circumstellar dust disks. *Astronomy and Astrophysics* 478, 779-793 (2008)
- Schinnerer, E., T. Böker, D. S. Meier, D. Calzetti: Self-regulated fueling of galaxy centers: evidence for star formation feedback in IC 342's nucleus. *The Astrophysical Journal* 684, L21-L24 (2008)
- Schinnerer, E., C. L. Carilli, P. Capak, A. Martinez-Sansigre, N. Z. Scoville, V. Smolcic, Y. Taniguchi, M. S. Yun, F. Bertoldi, O. Le Fevre, L. de Ravel: Molecular gas in a submillimeter galaxy at  $z = 4.5$ : evidence for a major merger at 1 billion years after the big bang. *The Astrophysical Journal* 689, L5-L8 (2008)
- Schmalzl, M., D. A. Gouliermis, A. E. Dolphin, T. Henning: The initial mass function of the stellar association NGC 602 in the Small Magellanic Cloud with Hubble Space Telescope ACS observations. *Astrophysical Journal* 681, 290-302 (2008)
- Schmidt, K. B., S. H. Hansen, A. V. Macciò: Alas, the dark matter structures were not that trivial. *The Astrophysical Journal* 689, L33-L36 (2008)
- Schramm, M., L. Wisotzki, K. Jahnke: Host galaxies of bright high redshift quasars: luminosities and colours. *Astronomy and Astrophysics* 478, 311-319 (2008)
- Schreyer, K., S. Guilloteau, D. Semenov, A. Bacmann, E. Chapillon, A. Dutrey, F. Gueth, T. Henning, F. Hersant, R. Launhardt, J. Pety, V. Piétu: Chemistry in disks. II. Poor molecular content of the AB Aurigae disk. *Astronomy and Astrophysics* 491, 821-827 (2008)
- Seifahrt, A., S. Thorwirth, H. Beuther, S. Leurini, C. L. Brogan, T. R. Hunter, K. M. Menten, B. Stecklum: Synergy of multi-frequency studies from observations of NGC 6334I. *Journal of Physics Conference Series* 131, 2030 (2008)
- Semenov, D., Y. Pavlyuchenkov, T. Henning, S. Wolf, R. Launhardt: Chemical and thermal structure of protoplanetary disks as observed with ALMA. *The Astrophysical Journal* 673, L195-L198 (2008)
- Semkov, E. H., M. K. Tsvetkov, A. P. Borisova, K. Y. Stavrev, P. Kroll, T. Berthold, K. Birkle, H. Mandel, H. Mito, K. Tarusawa: A long-term photometric study of V 1184 Tauri. *Astronomy and Astrophysics* 483, 537-542 (2008)
- Setiawan, J., T. Henning, R. Launhardt, A. Müller, P. Weise, M. Kürster: A young massive planet in a star-disk system. *Nature* 451, L38-L41 (2008)
- Sheffer, Y., M. Rogers, S. R. Federman, N. P. Abel, R. Gredel, D. L. Lambert, G. Shaw: Ultraviolet survey of CO and H<sub>2</sub> in diffuse molecular clouds: the reflection of two photochemistry regimes in abundance relationships. *The Astrophysical Journal* 687, 1075-1106 (2008)
- Sheth, K., D. M. Elmegreen, B. G. Elmegreen, P. Capak, R. G. Abraham, E. Athanassoula, R. S. Ellis, B. Mobasher, M. Salvato, E. Schinnerer, N. Z. Scoville, L. Spalsbury, L. Strubbe, M. Carollo, M. Rich, A. A. West: Evolution of the bar fraction in COSMOS: quantifying the assembly of the Hubble sequence. *The Astrophysical Journal* 675, 1141-1155 (2008)
- Shields, J. C., C. J. Walcher, T. Böker, L. C. Ho, H.-W. Rix, R. P. van der Marel: An accreting black hole in the nuclear star cluster of the bulgeless galaxy NGC 1042. *The Astrophysical Journal* 682, 104-109 (2008)
- Shioya, Y., Y. Taniguchi, S. S. Sasaki, T. Nagao, T. Murayama, M. I. Takahashi, M. Ajiki, Y. Ideue, S. Mihara, A. Nakajima, N. Z. Scoville, B. Mobasher, H. Aussel, M. Giavalisco, L. Guzzo, G. Hasinger, C. Impey, O. Le Fevre, S. Lilly, A. Renzini, M. Rich, D. B. Sanders,

- E. Schinnerer, P. Shopbell, A. Leauthaud, J. P. Kneib, J. Rhodes, R. Massey: The H $\alpha$  luminosity function and star formation rate at  $z$  approximate to 0.24 in the COSMOS 2 square degree field. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 175, 128-137 (2008)
- Sicilia-Aguilar, A., T. Henning, A. Juhász, J. Bouwman, G. Garmire, A. Garmire: Very low mass objects in the Coronet Cluster: the realm of the transition disks. *The Astrophysical Journal* 687, 1145-1167 (2008)
- Sicilia-Aguilar, A., B. Merín, F. Hormuth, P. Ábrahám, T. Henning, M. Kun, N. Patel, A. Juhász, W. Brandner, L. W. Hartmann, S. Csizmadia, A. Moór: The rapid outbursting star GM Cep: an EXor in Tr 37? *The Astrophysical Journal* 673, 382-399 (2008)
- Skibba, R. A.: Central and satellite colours in galaxy groups: a comparison of the halo model and SDSS group catalogues. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 1441 (2008)
- Smith, D. J. B., M. J. Jarvis, M. Lacy, A. Martínez-Sansigre: Infrared and millimetre-wavelength evidence for cold accretion within a  $z = 2.83$  Lyman  $\alpha$  blob. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 389, 799-805 (2008)
- Smolcic, V., E. Schinnerer, M. Scodreggio, P. Franzetti, H. Aussel, M. Bondi, M. Brusa, C. L. Carilli, P. Capak, S. Charlot, P. Ciliegi, O. Ilbert, Z. Ivezic, K. Jahnke, H. J. McCracken, M. Obric, M. Salvato, D. B. Sanders, N. Scoville, J. R. Trump, C. Tremonti, L. Tasca, C. J. Walcher, G. Zamorani: A new method to separate star-forming from AGN galaxies at intermediate redshift. The submillijansky radio population in the VLA-COSMOS survey. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 177, 14-38 (2008)
- Somerville, R. S., M. Barden, H.-W. Rix, E. F. Bell, S. V. W. Beckwith, A. Borch, J. A. R. Caldwell, B. Häußler, C. Heymans, K. Jahnke, S. Jogee, D. H. McIntosh, K. Meisenheimer, C. Y. Peng, S. F. Sánchez, L. Wisotzki, C. Wolf: An explanation for the observed weak size evolution of disk galaxies. *The Astrophysical Journal* 672, 776-786 (2008)
- Somerville, R. S., P. F. Hopkins, T. J. Cox, B. E. Robertson, L. Hernquist: A semi-analytic model for the co-evolution of galaxies, black holes and active galactic nuclei. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 391, 481-506 (2008)
- Staicu, A., G. Rouillé, T. Henning, F. Huisken, D. Pouladsaz, R. Scholz: S1  $\leftarrow$  S0 transition of 2,3-benzofluorene at low temperatures in the gas phase. *Journal of Chemical Physics* 129, 4302 (2008)
- Stolte, A., A. M. Ghez, M. Morris, J. R. Lu, W. Brandner, K. Matthews: The proper motion of the arches cluster with Keck laser-guide star adaptive optics. *The Astrophysical Journal* 675, 1278-1292 (2008)
- Swain, M. R., J. Bouwman, R. L. Akeson, S. Lawler, C. A. Beichman: The mid-infrared spectrum of the transiting exoplanet HD 209458b. *The Astrophysical Journal* 674, 482-497 (2008)
- Tacconi, L. J., R. Genzel, I. Smail, R. Neri, S. C. Chapman, R. J. Ivison, A. Blain, P. Cox, A. Omont, F. Bertoldi, T. Greve, N. M. Förster Schreiber, S. Genel, D. Lutz, A. M. Swinbank, A. E. Shapley, D. K. Erb, A. Cimatti, E. Daddi, A. J. Baker: Submillimeter galaxies at  $z \sim 2$ : evidence for major mergers and constraints on lifetimes, IMF, and CO-H $_2$  conversion factor. *The Astrophysical Journal* 680, 246-262 (2008)
- Tamburro, D., H. W. Rix, F. Walter, E. Brinks, W. J. G. de Blok, R. C. Kennicutt, M. M. MacLow: Geometrically derived timescales for star formation in spiral galaxies. *The Astronomical Journal* 136, 2872-2885 (2008)
- Tan, J. C., H. Beuther, F. Walter, E. G. Blackman: A search for molecular gas in the nucleus of M 87 and implications for the fueling of supermassive black holes. *The Astrophysical Journal* 689, 775-781 (2008)
- Trachternach, C., W. J. G. de Blok, F. Walter, E. Brinks, R. C. Kennicutt: Dynamical centers and noncircular motions in Things galaxies: implications for dark matter halos. *The Astronomical Journal* 136, 2720-2760 (2008)
- Treister, E., J. H. Krolik, C. Dullemond: Measuring the fraction of obscured quasars by the infrared luminosity of unobscured quasars. *The Astrophysical Journal* 679, 140-148 (2008)
- van den Bosch, F. C., D. Aquino, X. Yang, H. J. Mo, A. Pasquali, D. H. McIntosh, S. M. Weinmann, X. Kang: The importance of satellite quenching for the build-up of the red sequence of present-day galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 387, 79-91 (2008)
- van der Plas, G., M. E. van den Ancker, D. Fedele, B. Acke, C. Dominik, L. B. F. M. Waters, J. Bouwman: The structure of protoplanetary disks surrounding three young intermediate mass stars. I. Resolving the disk rotation in the [OI] 6300 Å line. *Astronomy and Astrophysics* 485, 487-495 (2008)
- Vasyunin, A. I., D. Semenov, T. Henning, V. Wakelam, E. Herbst, A. M. Sobolev: Chemistry in protoplanetary disks: a sensitivity analysis. *The Astrophysical Journal* 672, 629-641 (2008)
- Verhamme, A., D. Schaerer, H. Atek, C. Tapken: 3D Ly $\alpha$  radiation transfer. III. Constraints on gas and stellar properties of  $z \sim 3$  Lyman break galaxies (LBG) and implications for high- $z$  LBGs and Ly $\alpha$  emitters. *Astronomy and Astrophysics* 491, 89-111 (2008)
- Villar-Martín, M., A. Humphrey, A. Martínez-Sansigre, M. Pérez-Torres, L. Binette, X. G. Zhang: Emission-line activity in type 2 quasars from the Sloan Digital Sky Survey. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 390, 218-226 (2008)
- Voshchinnikov, N. V., T. Henning: Is the silicate emission feature only influenced by grain size? *Astronomy and Astrophysics* 483, L9-L12 (2008)
- Wagner, K., U. Mall, J. Ramos, R. Klein: New electronic read-out design for astronomical detectors. *SPIE Newsroom online* (2008)

- Walsh, J. L., A. J. Barth, L. C. Ho, A. V. Filippenko, H.-W. Rix, J. C. Shields, M. Sarzi, W. L. W. Sargent: Hubble Space Telescope Spectroscopic observations of the narrow-line region in nearby low-luminosity active galactic nuclei. *The Astronomical Journal* 136, 1677-1702 (2008)
- Walter, F., E. Brinks, W. J. G. de Blok, F. Bigiel, R. C. Kennicutt, M. D. Thornley, A. Leroy: Things: the HI Nearby Galaxy Survey. *The Astronomical Journal* 136, 2563-2647 (2008)
- Walter, F., C. Carilli: Detecting the most distant ( $z > 7$ ) objects with ALMA. *Astrophysics and Space Science* 313, 313-316 (2008)
- Wang, R., C. L. Carilli, J. Wagg, F. Bertoldi, F. Walter, K. M. Menten, A. Omont, P. Cox, M. A. Strauss, X. Fan, L. Jiang, D. P. Schneider: Thermal emission from warm dust in the most distant quasars. *The Astrophysical Journal* 687, 848-858 (2008)
- Wang, R., J. Wagg, C. L. Carilli, D. J. Benford, C. D. Dowell, F. Bertoldi, F. Walter, K. M. Menten, A. Omont, P. Cox, M. A. Strauss, X. Fan, L. Jiang: Sharc-II 350 mm observations of thermal emission from warm dust in  $z \geq 5$  Quasars. *The Astronomical Journal* 135, 1201-1206 (2008)
- Wang, S., L. W. Looney, W. Brandner, L. M. Close: Dense molecular gas in a young cluster around MWC 1080: rule of the massive star. *The Astrophysical Journal* 673, 315-330 (2008)
- Wang, Y., X. Yang, H. J. Mo, C. Li, F. C. van den Bosch, Z. Fan, X. Chen: Probing the intrinsic shape and alignment of dark matter haloes using SDSS galaxy groups. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 385, 1511-1522 (2008)
- Wang, Y., X. Yang, H. J. Mo, F. C. van den Bosch, S. M. Weinmann, Y. Chu: The clustering of SDSS galaxy groups: mass and color dependence. *The Astrophysical Journal* 687, 919-935 (2008)
- Weisz, D. R., E. D. Skillman, J. M. Cannon, A. E. Dolphin, R. C. Kennicutt, Jr., J. Lee, F. Walter: The recent star formation histories of M 81 group dwarf irregular galaxies. *The Astrophysical Journal* 689, 160-183 (2008)
- Weldrake, D. T. F., D. D. R. Bayliss: A deep catalog of variable stars in a 0.66 deg<sup>2</sup> Lupus Field. *The Astronomical Journal* 135, 649-663 (2008)
- Weldrake, D. T. F., D. D. R. Bayliss, P. D. Sackett, B. W. Tingley, M. Gillon, J. Setiawan: Lupus-TR-3b: a low-mass transiting hot Jupiter in the galactic plane? *The Astrophysical Journal* 675, L37-L40 (2008)
- Weldrake, D. T. F., P. D. Sackett, T. J. Bridges: The frequency of large-radius hot and very hot Jupiters in w Centauri. *The Astrophysical Journal* 674, 1117-1129 (2008)
- Wolf, C., H. Hildebrandt, E. N. Taylor, K. Meisenheimer: Calibration update of the COMBO-17 CDFS catalogue. *Astronomy and Astrophysics* 492, 933-936 (2008)
- Wolf, S.: Detecting protoplanets with ALMA. *Astrophysics and Space Science* 313, 109-112 (2008)
- Wolf, S., A. Schegerer, H. Beuther, D. L. Padgett, K. R. Stapelfeldt: Submillimeter structure of the disk of the Butterfly Star. *The Astrophysical Journal* 674, L101-L104 (2008)
- Xue, X. X., H. W. Rix, G. Zhao, P. Re Fiorentin, T. Naab, M. Steinmetz, F. C. van den Bosch, T. C. Beers, Y. S. Lee, E. F. Bell, C. Rockosi, B. Yanny, H. Newberg, R. Wilhelm, X. Kang, M. C. Smith, D. P. Schneider: The Milky Way's circular velocity curve to 60 kpc and an estimate of the dark matter halo mass from the kinematics of  $\sim 2400$  SDSS blue horizontal-branch stars. *The Astrophysical Journal* 684, 1143-1158 (2008)
- Yang, X., H. J. Mo, F. C. van den Bosch: Galaxy groups in the SDSS DR4. II. Halo occupation statistics. *The Astrophysical Journal* 676, 248-261 (2008)
- Yang, Y., H. Flores, F. Hammer, B. Neichel, M. Puech, N. Nesvadba, A. Rawat, C. Cesarsky, M. Lehnert, L. Pozzetti, I. Fuentes-Carrera, P. Amram, C. Balkowski, H. Dannerbauer, S. di Serego Alighieri, B. Guideroni, A. Kembhavi, Y. C. Liang, G. Östlin, C. D. Ravikumar, D. Vergani, J. Vernet, H. Wozniak: IMAGES. I. Strong evolution of galaxy kinematics since  $z = 1$ . *Astronomy and Astrophysics* 477, 789-805 (2008)
- Yang, Y., H. Flores, F. Hammer, B. Neichel, M. Puech, N. Nesvadba, A. Rawat, C. Cesarsky, M. Lehnert, L. Pozzetti, I. Fuentes-Carrera, P. Amram, C. Balkowski, H. Dannerbauer, S. di Serego Alighieri, B. Guideroni, A. Kembhavi, Y. C. Liang, G. Östlin, C. D. Ravikumar, D. Vergani, J. Vernet, H. Wozniak: Images I. Strong evolution of galaxy kinematics since  $z = 1$ . *Astronomy and Astrophysics* 477, 789-805 (2008)
- Younger, J. D., J. S. Dunlop, A. B. Peck, R. J. Ivison, A. D. Biggs, E. L. Chapin, D. L. Clements, S. Dye, T. R. Greve, D. H. Hughes, D. Iono, I. Smail, M. Krips, G. R. Petitpas, D. Wilner, A. M. Schael, C. D. Wilson: Clarifying the nature of the brightest submillimetre sources: interferometric imaging of LH850.02. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 387, 707-712 (2008)
- Zapatero Osorio, M. R., V. J. S. Béjar, G. Bihain, E. L. Martín, R. Rebolo, I. Villó-Pérez, A. Díaz-Sánchez, A. Pérez Garrido, J. A. Caballero, T. Henning, R. Mundt, D. Barrado Y Navascués, C. A. L. Bailer-Jones: New constraints on the membership of the T dwarf S Ori 70 in the  $\sigma$  Orionis cluster. *Astronomy and Astrophysics* 477, 895-900 (2008)
- Zechmeister, M., S. Reffert, A. P. Hatzes, M. Endl, A. Quirrenbach: The discovery of stellar oscillations in the K giant  $\iota$  Draconis. *Astronomy and Astrophysics* 491, 531-536 (2008)
- Zirm, A. W., S. A. Stanford, M. Postman, R. A. Overzier, J. P. Blakeslee, P. Rosati, J. Kurk, L. Pentericci, B. Venemans, G. K. Miley, H. J. A. Röttgering, M. Franx, A. van der Wel, R. Demarco, W. van Breugel: The nascent red sequence at  $z \sim 2$ . *The Astrophysical Journal* 680, 224-231 (2008)
- Zsom, A., C. P. Dullemond: A representative particle approach to coagulation and fragmentation of dust aggregates and fluid droplets. *Astronomy and Astrophysics* 489, 931-941 (2008)

Zwaan, M., F. Walter, E. Ryan-Weber, E. Brinks, W. J. G. de Blok, R. C. Kennicutt: Are the kinematics of DLAs in agreement with their arising in the gas disks of galaxies? *The Astronomical Journal* 136, 2886-2896 (2008)

### Beiträge zu Konferenzberichten und Sammelbänden

- Amiaux, J., F. Alouadi, J. L. Augeres, P. Bouchet, M. Bouzat, C. Cavarroc, C. Cloue, P. De Antoni, D. Desforges, A. Donati, D. Dubreuil, D. Eppelle, F. Gougnaud, B. Hervieu, P. O. Lagage, D. Leboeuf, I. Le Mer, Y. Lussignol, P. Mattei, F. Meigner, V. Moreau, E. Pantin, P. Perrin, S. Ronayette, G. Tauzin, S. Poupau, D. Wright, A. Glasse, G. Wright, E. Mazy, J. Y. Plessier, E. Renotte, T. Ray, A. Abergel, P. Guillard, Y. Longval, M. Ressler, J. M. Reess, R. Hofferbert, O. Krause, K. Justtanont, G. Olofsson: Development approach and first infrared test results of JWST/Mid Infra Red Imager Optical Bench. In: *Space Telescopes and Instrumentation 2008: Optical, Infrared, and Millimeter*, (Eds.) Oeschmann, J. M., M. W. M. de Graauw, H. MacEwen. SPIE 7010, SPIE, 70100U-70100U-12 (2008)
- Bailer-Jones, C. A. L.: A Method for Exploiting Domain Information in Astrophysical Parameter Estimation. In: *Astronomical Data Analysis Software and Systems* (Eds.) Argyle, R. W., P. S. Bunclark, J. R. Lewis. ASP Conf. Ser. 394, ASP, 169-172 (2008)
- Bailer-Jones, C. A. L., K. W. Smith: Finding rare objects and building pure samples: Probabilistic quasar classification with GAIA. In: *Classification and Discovery in Large Astronomical Surveys*, (Ed.) Bailer-Jones, C. A. L. AIP Conference Proceedings 1082, AIP, 3-8 (2008)
- Balokovic, M., M. Kürster: An application of heuristic algorithms to radial velocity data from multiple-planet extrasolar systems. In: *Proceedings of the 15<sup>th</sup> Young Scientists' Conference on Astronomy and Space Physics*, (Eds.) Choliy, V. Y., G. Ivashchenko. *Kyivskiyi University*, 44-47 (2008)
- Baumeister, H., M. Alter, M. C. Cárdenas Vázquez, M. Fernandez, J. Fried, J. Helmling, A. Huber, J.-M. Ibáñez Mengual, J. F. Rodríguez Gómez, W. Laun, R. Lenzen, U. Mall, V. Naranjo, J.-R. Ramos, R.-R. Rohloff, A. García Segura, C. Storz, M. Ubierna, K. Wagner: PANIC: the new panoramic NIR camera for Calar Alto. In: *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II*, (Eds.) McLean, I. S., M. M. Casali. SPIE 7014, SPIE, 70142R-70142R-9 (2008)
- Bell, E. F.: The evolving disk galaxy population. In: *Formation and Evolution of Galaxy Disks*, (Eds.) Funes, J. G., E. M. Corsini. ASP Conf. Ser. 396, ASP, 389-395 (2008)
- Bertram, T., A. Eckart, B. Lindhorst, S. Rost, C. Straubmeier, E. Tremou, Y. Wang, I. Wank, G. Witzel, U. Beckmann, M. Brix, S. Egner, T. Herbst: The LINC-NIRVANA FRINGE and flexure tracking system. In: *Optical and Infrared Interferometry*, (Eds.) Schöller, M., W. C. Danchi, F. Delplancke. SPIE 7013, SPIE, 701327-701327-12 (2008)
- Berwein, J., F. Briegel, W. Gaessler, F. Kittmann: A template based SOA developer framework. In: *Astronomical Data Analysis Software and Systems XVII*, (Eds.) Argyle, R. W., P. S. Bunclark, J. R. Lewis. ASP Conf. Ser. 394, ASP, 685-688 (2008)
- Berwein, J., F. Briegel, W. Gaessler, F. Kittmann, A. Pavlov: An SOA developer framework for astronomical instrument control software. In: *Advanced Software and Control for Astronomy II*, (Eds.) Bridger, A., N. M. Radziwill. SPIE 7019, SPIE, 70191T-70191T-8 (2008)
- Beuzit, J.-L., M. Feldt, K. Dohlen, D. Mouillet, P. Puget, F. Wildi, L. Abe, J. Antichi, A. Baruffolo, P. Baudoz, A. Boccaletti, M. Carbillet, J. Charton, R. Claudi, M. Downing, C. Fabron, P. Feautrier, E. Fedrigo, T. Fusco, J.-L. Gach, R. Gratton, T. Henning, N. Hubin, F. Joos, M. Kasper, M. Langlois, R. Lenzen, C. Moutou, A. Pavlov, C. Petit, J. Pragt, P. Rabou, F. Rigal, R. Roelfsema, G. Rousset, M. Saisse, H.-M. Schmid, E. Stadler, C. Thalmann, M. Turatto, S. Udry, F. Vakili, R. Waters: SPHERE: a planet finder instrument for the VLT. In: *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II*, (Eds.) McLean, I. S., M. M. Casali. SPIE 7014, SPIE, 701418-701418-12 (2008)
- Biazzo, K., L. Pasquini, A. Frasca, L. D. Silva, L. Girardi, A. P. Hatzes, J. Setiawan, S. Catalano, E. Marilli: Physical parameters of evolved stars in clusters and in the field from line-depth ratios. In: *Precision Spectroscopy in Astrophysics*, (Eds.) Santos, N. C., L. Pasquini, A. C. M. Correia, M. Romaniello. *ESO Astrophysics Symposia* Springer, 29-33 (2008)
- Birkmann, S. M., J. Stegmaier, U. Grözinger, O. Krause, T. Souverijns, J. Putzeys, D. Sabuncuoglu Tezcan, K. De Munck, P. Fiorini, K. Minoglou, P. Merken, C. Van Hoof, P. De Moor: Cold performance tests of blocked-impurity-band Si:As detectors developed for DARWIN. In: *High Energy, Optical, and Infrared Detectors for Astronomy III*, (Eds.) Dorn, D. A., A. D. Holland. SPIE 7021, SPIE, 70210R-70210R-11 (2008)
- Bizenberger, P., H. Baumeister, U. Graser, T. Henning, N. Krause, R. Launhardt, V. Naranjo, D. Queloz, A. Quirrenbach: Verification and acceptance tests of the PRIMA DDL optics. In: *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II*, (Eds.) McLean, I. S., M. M. Casali. SPIE 7014, SPIE, 70144P-70144P-12 (2008)
- Bouy, H., E. L. Martín, W. Brandner, J. Bouvier: Multiplicity at the very low mass end of the H-R diagram. In: *Multiple Stars Across the H-R Diagram* (Eds.) Hubrig, S., M. Petr-Gotzens, A. Tokovinin. *ESO Astrophysics Symposia* Springer, 199-209 (2008)
- Brandl, B. R., R. Lenzen, E. Pantin, A. Glasse, J. Blommaert, L. Venema, F. Molster, R. Siebenmorgen, H. Boehnhardt, E. van Dishoeck, P. van der Werf, T. Henning, W. Brandner, P.-O. Lagage, T. J. T. Moore, M. Baes, C.

- Waelkens, C. Wright, H. U. Käufl, S. Kendrew, R. Stuik, L. Jolissaint: METIS: the mid-infrared E-ELT imager and spectrograph. In: *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy* (Eds.) McLean, I. S., M. M. Casali. SPIE 7014, SPIE, 70141N-70141N-15 (2008)
- Brandner, W.: The starburst cluster Westerlund 1 and its galactic siblings – observation confronts theory. In: *Massive Star Formation: Observations Confront Theory*, (Eds.) Beuther, H., H. Linz, T. Henning. ASP Conf. Ser. 387, ASP, 369-374 (2008)
- Briegel, F., J. Berwein, F. Kittmann: A component based astronomical visualization tool for instrument control and data pipeline. In: *Astronomical Data Analysis Software and Systems XVII*, (Eds.) Argyle, R. W., P. S. Bunclark, J. R. Lewis. ASP Conf. Ser. 394, ASP, 323-326 (2008)
- Brinks, E., F. Walter, E. D. Skillman: Free floating HI clouds in the M 81 group. In: *Dark Galaxies and Lost Baryons*, (Eds.) Davies, J. I., M. J. Disney. IAU Symp. 244, Cambridge Univ. Press, 120-126 (2008)
- Brix, M., V. Naranjo, U. Beckmann, R. Bertram, T. Bertram, J. Brynnel, S. Egner, W. Gaessler, T. M. Herbst, M. Kuerster, R. R. Rohloff, S. Rost, J. Schmidt: Vibration measurements at the Large Binocular Telescope (LBT). In: *Ground-based and Airborne Telescopes II*, (Eds.) Stepp, L. M., R. Gilmozzi. SPIE 7012, SPIE, 70122J-70122J-10 (2008)
- Cárdenas, M. C., J. Rodríguez Gómez, R. Lenzen, E. Sánchez-Blanco: Preliminary optical design of PANIC, a wide-field infrared camera for CAHA. In: *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II*, (Eds.) McLean, I. S., M. M. Casali. SPIE 7014, SPIE, 70142Q-70142Q-10 (2008)
- Carmona, A., M. E. van den Ancker, T. Henning, Y. Pavlyuchenkov, C. P. Dullemond, M. Goto, D. Fedele, B. Stecklum, W. F. Thi, J. Bouwman, L. B. F. M. Waters: Searching for H<sub>2</sub> emission from protoplanetary disks using near- and mid-infrared high-resolution spectroscopy. In: *Exoplanets: Detection, Formation and Dynamics*, (Eds.) Sun, Y.-S., S. Ferraz-Mello, J.-L. Zhou. IAU Symp. 249, Cambridge Univ. Press, 359-368 (2008)
- Carson, J. C., M. Feldt, S. Desidera, M. Langlois, F. Joos, D. Mouillet, J.-L. Beuzit: Frame combination techniques for ultra-high-contrast imaging. In: *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II*, (Eds.) McLean, I. S., M. M. Casali. SPIE 7014, SPIE, 70143I-70143I-9 (2008)
- Chesneau, O., R. V. Boekel, T. Herbst, P. Kervella, M. Min, L. B. F. M. Waters, C. Leinert, R. Petrov, G. Weigelt: Eta Car through the Eyes of Interferometers. In: *The Power of Optical/IR Interferometry: Recent Scientific Results and 2<sup>nd</sup> Generation Instrumentation*, (Eds.) Richichi, A., F. Delplancke, F. Paresce, A. Chelli. ESO Astrophysics Symposia Springer, 131-141 (2008)
- Chesneau, O., O. D. Marco, A. Collioud, A. Rothkopf, A. Zijlstra, S. Wolf, A. Acker, G. Clayton: The equatorial disk at the center of the planetary nebula CPD-568032. In: *The Power of Optical/IR Interferometry: Recent Scientific Results and 2<sup>nd</sup> Generation Instrumentation* (Eds.) Richichi, A., F. Delplancke, F. Paresce, A. Chelli. ESO Astrophysics Symposia Springer, 491-492 (2008)
- Cisternas, M., K. Jahnke, K. J. Inskip: Towards an automatic classification of distortions as merging indicators in AGN host galaxies. In: *Classification and Discovery in Large Astronomical Surveys*, (Ed.) Bailer-Jones, C. A. L. AIP Conference Proceedings 1082, American Institute of Physics, 134-136 (2008)
- Correia, S., H. Zinnecker, T. Ratzka, M. F. Sterzik: High-order multiplicity of PMS stars: results from a VLT/NACO survey. In: *Multiple Stars across the H-R Diagram*, (Eds.) Hubrig, S., M. Petr-Gotzens, A. Tokovinin. ESO Astrophysics Symposia Springer, 232-238 (2008)
- Daddi, E., H. Dannerbauer, D. Elbaz, M. Dickinson, G. Morrison, D. Stern, S. Ravindranath: ULIRGs at  $z = 1.5$  as scaled up spiral disks. In: *Formation and Evolution of Galaxy Disks*, (Eds.) Funes, J. G., E. M. Corsini. ASP Conf. Ser. 396, ASP, 405-408 (2008)
- Dannerbauer, H., D. Rigopoulou, D. Lutz, R. Genzel, E. Sturm, A. F. M. Moorwood: Follow-up NIR spectroscopy of ULIRGs observed by ISO. In: *Infrared Diagnostics of Galaxy Evolution*, (Eds.) Chary, R.-R., H. I. Teplitz, K. Sheth. ASP Conf. Ser. 381, ASP, 275-278 (2008)
- Desidera, S., R. Gratton, R. Claudi, J. Antichi, D. MESA, M. Turatto, P. Bruno, E. Cascone, V. De Caprio, E. Giro, S. Scuderi, M. Feldt, A. Pavlov, O. Moeller-Nilsson, K. Dohlen, J. L. Beuzit, D. Mouillet, P. Puget, F. Wildi: Calibration and data reduction for planet detection with SPHERE-IFS. In: *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II*, (Eds.) McLean, I. S., M. M. Casali. SPIE 7014, SPIE, 70143M-70143M-11 (2008)
- di Serego Alighieri, S., J. Kurk, B. Ciardi, A. Cimatti, E. Daddi, A. Ferrara: The search for population III stars. In: *Low-Metallicity Star Formation: From the First Stars to Dwarf Galaxies*, (Eds.) Hunt, L. K., S. Madden, R. Schneider. IAU Symp. 255, Cambridge Univ. Press, 75-78 (2008)
- Dib, S., M. Shadmehri, M. Gopinathan, J. Kim, T. Henning: Primordial mass segregation in starburst stellar clusters. In: *Massive Star Formation: Observations Confront Theory* (Eds.) Beuther, H., H. Linz, T. Henning. ASP Conf. Ser. 387, ASP, 282-289 (2008)
- Doherty, M., T. Kodama, N. Seymour, M. Tanaka, J. Vernet, C. De Breuck, J. Kurk: Massive galaxies in high redshift proto-clusters. In: *Panoramic Views of Galaxy Formation and Evolution*, (Eds.) Kodama, T., T. Yamada, K. Aoki. ASP Conf. Ser. 399, ASP, 368-370 (2008)
- Driebe, T., D. Riechers, Y. Y. Balega, K. H. Hofmann, A. B. Men'shchikov, G. Weigelt: High-Resolution Near-Infrared Speckle Interferometry and Radiative Transfer Modeling of the OH/IR Star OH 26.5+0.6. In: *The Power of Optical/IR Interferometry: Recent Scientific Results and 2<sup>nd</sup> Generation Instrumentation*, (Eds.) Richichi, A., F. Delplancke, F. Paresce, A. Chelli. ESO Astrophysics Symposia Springer, 509-510 (2008)

- Dutton, A. A., F. C. van den Bosch, S. Courteau: The Tully-Fisher zero point problem. In: *Formation and Evolution of Galaxy Disks*, (Eds.) Funes, J. G., E. M. Corsini. ASP Conf. Ser. 396, ASP, 467-470 (2008)
- Eckart, A., J. U. Pott, A. Glindemann, T. Viehmann, R. Schödel, C. Straubmeier, C. Leinert, M. Feldt, R. Genzel, M. Robberto: IRS 3 - the brightest compact MIR source in the galactic center. In: *The Power of Optical/IR Interferometry: Recent Scientific Results and 2<sup>nd</sup> Generation Instrumentation*, (Eds.) Richichi, A., F. Delplancke, F. Paresce, A. Chelli. ESO Astrophysics Symposia Springer, 307-312 (2008)
- Egner, S. E., T. M. Herbst, C. Arcidiacono: General performance analysis of a Fizeau interferometer. In: *Optical and Infrared Interferometry*, (Eds.) Schöller, M., W. C. Danchi, F. Delplancke. SPIE 7013, SPIE, 70133C-70133C-12 (2008)
- Eikenberry, S. S., M. Keremedjiev, J. C. Carson: Stabilized-speckle integral field spectroscopy: SPIFS. In: *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II*, (Eds.) McLean, I. S., M. M. Casali. SPIE 7014, SPIE, 70145P-70145P-8 (2008)
- Einbeck, J., L. Evers, C. Bailer-Jones: Representing complex data using localized principal components with application to astronomical data. In: *Principal Manifolds for Data Visualization and Dimension Reduction*, Lecture Notes in Computational Science and Engineering, Vol. 58, (Eds.) Gorban, A. N., B. Kegl, D. C. Wunsch, A. Zinovyev. Springer, Heidelberg 2008, 180-204
- Eisenhauer, F., G. Perrin, W. Brandner, C. Straubmeier, A. Richichi, S. Gillessen, J. P. Berger, S. Hippler, A. Eckart, M. Schöller, S. Rabien, F. Cassaing, R. Lenzen, M. Thiel, Y. Clénet, J. R. Ramos, S. Kellner, P. Fédou, H. Baumeister, R. Hofmann, E. Gendron, A. Boehm, H. Bartko, X. Haubois, R. Klein, K. Dodds-Eden, K. Houairi, F. Hormuth, A. Gräter, L. Jocou, V. Naranjo, R. Genzel, P. Kervella, T. Henning, N. Hamaus, S. Lacour, U. Neumann, M. Haug, F. Malbet, W. Laun, J. Kolmeder, T. Paumard, R. R. Rohloff, O. Pfuhl, K. Perraut, J. Ziegleder, D. Rouan, G. Rousset: GRAVITY: getting to the event horizon of Sgr A\*. In: *Optical and Infrared Interferometry*, (Eds.) Schöller, M., W. C. Danchi, F. Delplancke. SPIE 7013, SPIE, 70132A-70132A-13 (2008)
- Eisenhauer, F., G. Perrin, S. Rabien, A. Eckart, P. Léna, R. Genzel, R. Abuter, T. Paumard, W. Brandner: GRAVITY: the AO-assisted, two-object beam-combiner instrument for the VLTI. In: *The Power of Optical/IR Interferometry: Recent Scientific Results and 2<sup>nd</sup> Generation Instrumentation*, (Eds.) Richichi, A., F. Delplancke, F. Paresce, A. Chelli. ESO Astrophysics Symposia Springer, 431-444 (2008)
- Eisenhauer, F., G. Perrin, C. Straubmeier, W. Brandner, A. Boehm, F. Cassaing, Y. Clénet, K. Dodds-Eden, A. Eckart, P. Fédou, E. Gendron, R. Genzel, S. Gillessen, A. Graeter, C. Gueriau, N. Hamaus, X. Haubois, M. Haug, T. Henning, S. Hippler, R. Hofmann, F. Hormuth, K. Houairi, S. Kellner, P. Kervella, R. Klein, J. Kolmeder, W. Laun, P. Lena, R. Lenzen, M. Marteau, D. Meschke, V. Naranjo, U. Neumann, T. Paumard, M. Perger, D. Perret, S. Rabien, J. R. Ramos, J. M. Reess, R. R. Rohloff, D. Rouan, G. Rousset, B. Ruyet, M. Schropp, B. Talureau, M. Thiel, J. Ziegleder, D. Ziegler: GRAVITY: microarcsecond astrometry and deep interferometric imaging with the VLTI. In: *A Giant Step: from Milli- to Micro-arcsecond Astrometry*, (Eds.) Jin, W., I. Platais, M. A. C. Perryman. IAU Symp. 248, Cambridge Univ. Press, 100-101 (2008)
- Eislöffel, J., J. Steinacker: The formation of low-mass protostars and proto-brown dwarfs. In: *14<sup>th</sup> Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun*, (Ed.) van Belle, G. ASP Conf. Ser. 384, ASP, 359-363 (2008)
- Elias, N. M., II, R. Köhler, I. Stiliz, S. Reffert, R. Geisler, A. Quirrenbach, J. de Jong, F. Delplancke, R. N. Tubbs, R. Launhardt, T. Henning, D. Mégevand, D. Queloz: The astrometric data-reduction software for exoplanet detection with PRIMA. In: *Optical and Infrared Interferometry*, (Eds.) Schöller, M., W. C. Danchi, F. Delplancke. SPIE 7013, SPIE, 70133V-70133V-9 (2008)
- Elias, N. M., R. N. Tubbs, R. Köhler, S. Reffert, I. Stiliz, R. Launhardt, J. de Jong, A. Quirrenbach, F. Delplancke, T. Henning, D. Queloz: The astrometric data reduction software (ADRS) and error budget for PRIMA. In: *Exoplanets: Detection, Formation and Dynamics*, (Eds.) Sun, Y.-S., S. Ferraz-Mello, J.-L. Zhou. IAU Symp. 249, Cambridge Univ. Press, 119-122 (2008)
- Elting, C., C. A. L. Bailer-Jones, K. W. Smith: Photometric Classification of Stars, Galaxies and Quasars in the Sloan Digital Sky Survey DR6 Using Support Vector Machines. In: *Classification and Discovery in Large Astronomical Surveys*, (Ed.) Bailer-Jones, C. A. L. AIP Conference Proceedings 1082, American Institute of Physics, 9-14 (2008)
- Endl, M., W. D. Cochran, M. Kürster, R. A. Wittenmyer, J. L. Bean: New results from the McDonald Observatory and ESO/VLT planet surveys. In: *Extreme Solar Systems*, (Eds.) Fischer, D., F. A. Rasio, S. E. Thorsett, A. Wolszczan. ASP Conf. Ser. 398, ASP, 51-58 (2008)
- Falcón-Barroso, J., T. Böker, E. Schinnerer, J. H. Knapen, S. Ryder: A SINFONI view of circum-nuclear star-forming rings in spiral galaxies. In: *Formation and Evolution of Galaxy Bulges*, (Eds.) Bureau, M., E. Athanassoula, B. Barbury. IAU Symp. 245, Cambridge Univ. Press 177-180 (2008)
- Farinato, J., R. Ragazzoni, C. Arcidiacono, A. Brunelli, M. Dima, G. Gentile, V. Viotto, E. Diolaiti, I. Foppiani, M. Lombini, L. Schreiber, P. Bizenberger, F. De Bonis, S. Egner, W. Gässler, T. Herbst, M. Kürster, L. Mohr, R. R. Rohloff: The Multiple Field of View Layer Oriented wavefront sensing system of LINC-NIRVANA: two arcminutes of corrected field using solely Natural Guide Stars. In: *Adaptive Optics Systems*, (Eds.) Hubin, N., C. E. Max, P. L. Wizinowich. SPIE 7015, SPIE, 70155J-70155J-11 (2008)

- Feldt, M., O. Möller-Nilsson, A. I. Pavlov, J.-L. Beuzit, D. Mouillet, R. Gratton, M. Langlois, F. Joos: SPHERE baseline software for reducing calibration data. In: *Advanced Software and Control for Astronomy II*, (Eds.) Bridger, A., N. M. Radziwill. SPIE 7019, SPIE, 701930-701930-8 (2008)
- Feldt, M., I. Pascucci, O. Chesneau, D. Apai, T. Henning, C. Leinert, H. Linz, A. Men'shchikov, B. Stecklum: Interferometry of M8E-IR with MIDI - resolving the dust emission. In: *The Power of Optical/IR Interferometry: Recent Scientific Results and 2<sup>nd</sup> Generation Instrumentation* (Eds.) Richichi, A., F. Delplancke, F. Paresce, A. Chelli. ESO Astrophysics Symposia Springer, 263-267 (2008)
- Foppiani, I., M. Lombini, G. Bregoli, G. Cosentino, E. Diolaiti, G. Innocenti, D. Meschke, R.-R. Rohloff, T. M. Herbst, C. Ciattaglia: An infrared test camera for LBT adaptive optics commissioning. In: *Adaptive Optics Systems*, (Eds.) Hubin, N., C. E. Max, P. L. Wizinowich. SPIE 7015, SPIE, 701562-701562-11 (2008)
- Franco, I., L. Carigi: The delayed contribution of low and intermediate mass stars to chemical galactic enrichment: An analytical approach. *ReVISTA Mexicana de Astronomia y Astrofisica* 44, 311-323 (2008)
- Gabor, P., P. A. Schuller, B. Chazelas, M. Decaudin, A. Labèque, P. Duret, Y. Rabbia, R. Launhardt, J. Gay, Z. Sodnik, M. Barillot, F. Brachet, T. Laurent, S. Jacquiod, D. Vandormael, J. Loicq, D. Mawet, M. Ollivier, A. Léger: Tests of achromatic phase shifters performed on the SYNAPSE test bench: a progress report. In: *Optical and Infrared Interferometry*, (Eds.) Schöller, M., W. C. Danchi, F. Delplancke. SPIE 7013, SPIE, 701340-701340-11 (2008)
- Gál, C., F. Müller-Sánchez, A. Krabbe, F. Eisenhauer, C. Iserlohe, M. Haug, T. M. Herbst: LIINUS: a design study for interferometric imaging spectroscopy at the LBT. In: *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II*, (Eds.) McLean, I. S., M. M. Casali. SPIE 7014, SPIE, 70147E-70147E-12 (2008)
- Garcia, P. J. V., J.-P. Berger, A. Marconi, A. Krivov, A. Chiavassa, B. Aringer, B. Nisini, D. Defrère, D. Mawet, D. Schertl, E. Tatuli, E. Thiébaud, F. Baron, F. Malbet, G. Duchêne, G. Weigelt, G. Duvert, G. Henri, H. Klahr, J. Surdej, J.-C. Augereau, J.-F. Claeskens, J. Young, J. Hron, K. Perraut, K.-H. Hofmann, L. Testi, M. Cunha, M. Filho, M. I. De Becker, O. Absil, O. Chesneau, P. Collette, P.-O. Petrucci, R. Neuhaeuser, R. Corradi, S. Antón, S. Wolf, S. Hoenig, S. Renard, T. Forveille, T. Beckert, T. Lebzelter, T. Harries, V. Borkowski, X. Bonfils: Science case for 1 mas spectro-imaging in the near-infrared. In: *Optical and Infrared Interferometry*, (Eds.) Schöller, M., W. C. Danchi, F. Delplancke. SPIE 7013, SPIE, 70134N-70134N-14 (2008)
- Geisler, R., N. M. Elias, II, A. Quirrenbach, R. Köhler, R. N. Tubbs, T. Henning, D. Queloz: Simulations of imperfect PRIMA FRINGE sensing units and calibration strategies. In: *Optical and Infrared Interferometry*, (Eds.) Schöller, M., W. C. Danchi, F. Delplancke. SPIE 7013, SPIE, 701344-701344-10 (2008)
- Geisler, R., J. Setiawan, T. Henning, D. Queloz, A. Quirrenbach, R. Launhardt, A. Müller, S. Reffert, P. Weise: Preparing the exoplanet search with PRIMA: searching for reference stars and target characterization. In: *Exoplanets: Detection, Formation and Dynamics*, (Eds.) Sun, Y.-S., S. Ferraz-Mello, J.-L. Zhou. IAU Symp. 249, Cambridge Univ. Press, 61-63 (2008)
- Gil, C., F. Malbet, M. Schöller, O. Chesneau, C. Leinert: Observations of 51 Ophiuchi with MIDI at the VLTI. In: *The Power of Optical/IR Interferometry: Recent Scientific Results and 2<sup>nd</sup> Generation Instrumentation*, (Eds.) Richichi, A., F. Delplancke, F. Paresce, A. Chelli. ESO Astrophysics Symposia Springer, 187-191 (2008)
- Giridhar, S., R. O. Gray, C. J. Corbally, C. A. L. Bailer-Jones, L. Eyer, M. J. Irwin, J. D. Kirkpatrick, S. Majewski, D. Minniti, B. Nordström: Commission 45: Spectral Classification. In: *Transactions of the IAU*, (Ed.) van der Hucht, K. A. *Transactions of the International Astronomical Union, Series A 27*, Cambridge Univ. Press, 228-235 (2008)
- Gondoin, P., R. D. Hartog, M. Fridlund, P. Fabry, A. Stankov, A. Peacock, S. Volonte, F. Puech, F. Delplancke, P. Gitton, A. Glindemann, F. Paresce, A. Richichi, M. Barillot, O. Absil, F. Cassaing, V. Coudédu Foresto, P. Kervella, G. Perrin, C. Ruilier, R. Flatscher, H. Bokhove, K. Ergenzinger, A. Quirrenbach, O. Wallner, J. Alves, T. Herbst, D. Mourard, R. Neuhaeuser, D. Ségransan, R. Waters, G. J. White: GENIE: a ground-based European nulling instrument at ESO Very Large Telescope Interferometer. In: *The Power of Optical/IR Interferometry: Recent Scientific Results and 2<sup>nd</sup> Generation Instrumentation*, (Eds.) Richichi, A., F. Delplancke, F. Paresce, A. Chelli. ESO Astrophysics Symposia Springer, 445-456 (2008)
- Gouliermis, D. A.: Clustered star formation in the Magellanic Clouds. In: *Dynamical Evolution of Dense Stellar Systems*, (Eds.) Vesperini, E., M. Giersz, A. Sills. IAU Symp. 246, Cambridge Univ. Press, 61-62 (2008)
- Grille, R., L. Labadie, P. Kern, G. Martin, B. Arezki: Characterization of silver halide fiber for modal filtering on mid-infrared: imaging, nulling, and spectral transmission. In: *Optical and Infrared Interferometry*, (Eds.) Schöller, M., W. C. Danchi, F. Delplancke. SPIE 7013, SPIE, 70133Q-70133Q-7 (2008)
- Grosbøl, P., H. Dottori, R. Gredel: Young stellar clusters in the Southern spiral arm of NGC 2997. In: *Mapping the Galaxy and Nearby Galaxies*, (Eds.) Wada, K., F. Combes. Springer, 326-327 (2008)
- Haan, S., E. Schinnerer, C. G. Mundell, F. Combes, S. García-Burillo, E. Emsellem: Feeding active galaxies: gas dynamics from the outskirts to the very center. In: *Pathways Through an Eclectic Universe*, (Eds.) Knapen, J. H., T. J. Mahoney, A. Vazdekis. ASP Conf. Ser. 390, ASP, 392-393 (2008)
- Haan, S., E. Schinnerer, C. G. Mundell, F. Combes, S. García-Burillo, E. Emsellem: Feeding black holes: tra-

- cing gas flows from the outskirts to the centers of galaxies. In: *Formation and Evolution of Galaxy Bulges*, (Eds.) Bureau, M., E. Athanassoula, B. Barbur. IAU Symp. 245, Cambridge Univ. Press 247-248 (2008)
- Hatzes, A. P., M. Döllinger, L. Pasquini, J. Setiawan, L. Girardi, L. da Silva: Planets around giant stars. In: *Precision Spectroscopy in Astrophysics*, (Eds.) Santos, N. C., L. Pasquini, A. C. M. Correia, M. Romaniello. Springer, 197-200 (2008)
- Heiderman, A., S. Jogee, D. Bacon, M. Balogh, M. Barden, F. D. Barazza, E. F. Bell, A. Böhm, J. A. R. Caldwell, M. E. Gray, B. Häussler, C. Heymans, K. Jahnke, E. van Kampen, S. Koposov, K. Lane, I. Marinova, D. McIntosh, K. Meisenheimer, C. Y. Peng, H. W. Rix, S. F. Sánchez, R. Somerville, A. Taylor, L. Wisotzki, C. Wolf, X. Zheng: Morphological transformations of galaxies in the A901/02 supercluster from STAGES. In: *New Horizons in Astronomy: Frank N. Bash Symposium* (Eds.) Frebel, A., J. R. Maund, J. Shen, M. H. Siegel. ASP Conf. Ser. 393, ASP, 211-214 (2008)
- Heiderman, A. L., S. Jogee, D. J. Bacon, M. L. Balogh, M. Barden, F. D. Barazza, E. F. Bell, A. Böhm, J. A. R. Caldwell, M. E. Gray, B. Häussler, C. Heymans, K. Jahnke, E. van Kampen, S. Koposov, K. Lane, D. H. McIntosh, K. Meisenheimer, C. Y. Peng, H. W. Rix, S. F. Sanchez, R. Somerville, A. N. Taylor, L. Wisotzki, C. Wolf, X. Zheng: Galaxy evolution in dense environments: properties of interacting galaxies in the Abell 901/902 supercluster. In: *Formation and Evolution of Galaxy Disks* (Eds.) Funes, J. G., E. M. Corsini. ASP Conf. Ser. 396, ASP, 269-271 (2008)
- Henning, T.: Conference summary. In: *Massive Star Formation: Observations Confront Theory* (Eds.) Beuther, H., H. Linz, T. Henning. ASP Conf. Ser. 387, ASP, 452-460 (2008)
- Henning, T.: The power of optical and infrared interferometry - from dreams to reality. In: *The Power of Optical/IR Interferometry: Recent Scientific Results and 2<sup>nd</sup> Generation Instrumentation*, (Eds.) Richichi, A., F. Delplancke, F. Paresce, A. Chelli. ESO Astrophysics Symposia Springer, 325-327 (2008)
- Herald, D., F. Abbeel, S. Aguirre, P. Anderson, M. Antos, M. Audejean, H. Bill, M. Blichfeldt, G. Bolt, S. Bolzoni, M. Bonnardeau, R. Bourtembourg, J. Bradshaw, D. Breit, J. Broughton, H. Bulder, S. Campbell, T. Campbell, E. Castro, D. Caton, V. Cejka, A. Christou, D. Clark, A. Correa, K. Coughlin, G. Dangel, S. Degenhardt, M. Dentel, H. Denzau, T. Dobosz, J. Durech, P. Enskonatus, B. Ewen-Smith, O. Farago, R. Fleishman, R. Frankenberger, P. Gabriel, A. Galad, D. Gault, T. George, R. Goncalves, J. Goss, H. Groot, K. Halir, B. Harris, A. Hashimoto, T. Hayamizu, G. Hofler, S. Ionov, T. Janik, J. Jindra, K. Kageyama, D. Kapetanakis, M. Kapka, V. Kapkov, H. Karasaki, S. Kerr, B. King, O. Kloes, J. Kopplin, N. Kordts, D. Koschny, M. Krocil, P. Kusnirak, T. Ladanyi, J. Lecacheux, J. Leckmeyer, A. Leroy, B. Loader, T. Lohf, F. Lomoz, C. Macdougall, I. Majchrovic, P. Maley, J. Manek, J. McFarland, J. McGaha: Minor Planet Observations [244 Geocentric Occultation Observations]. *Minor Planet Circulars* 6358, (2008)
- Herbst, T. M., R. Ragazzoni, A. Eckart, G. Weigelt: LINC-NIRVANA: achieving 10 mas imagery on the Large Binocular Telescope. In: *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II*, (Eds.) McLean, I. S., M. M. Casali. SPIE 7014, SPIE, 70141A-70141A-6 (2008)
- Herbst, T. M., R. Ragazzoni, A. Eckart, G. Weigelt: LINC-NIRVANA: the Fizeau interferometer for the Large Binocular Telescope. In: *Optical and Infrared Interferometry*, (Eds.) Schöller, M., W. C. Danchi, F. Delplancke. SPIE 7013, SPIE, 701326-701326-7 (2008)
- Hippler, S., W. Brandner, Y. Clénet, F. Hormuth, E. Gendron, T. Henning, R. Klein, R. Lenzen, D. Meschke, V. Naranjo, U. Neumann, J. R. Ramos, R.-R. Rohloff, F. Eisenhauer: Near-infrared wavefront sensing for the VLT interferometer. In: *Adaptive Optics Systems*, (Eds.) Hubin, N., C. E. Max, P. L. Wizinowich. SPIE 7015, SPIE, 701555-701555-11 (2008)
- Holwerda, B. W., R. S. de Jong, A. Seth, J. J. Dalcanton, M. Regan, E. Bell, S. Bianchi: SPITZER's view of edge-on spirals. In: *Formation and Evolution of Galaxy Disks* (Eds.) Funes, J. G., E. M. Corsini. ASP Conf. Ser. 396, ASP, 209-210 (2008)
- Hormuth, F.: MicroLux: high-precision timing of high-speed photometric observations. In: *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II*, (Eds.) McLean, I. S., M. M. Casali. SPIE 7014, SPIE, 701446-701446-8 (2008)
- Hormuth, F., W. Brandner, S. Hippler, T. Henning: AstraLux - the Calar Alto 2.2-m telescope Lucky Imaging Camera. *Journal of Physics Conference Series* 131, 02051 (2008)
- Hormuth, F., S. Hippler, W. Brandner, K. Wagner, T. Henning: AstraLux: the Calar Alto lucky imaging camera. In: *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II*, (Eds.) McLean, I. S., M. M. Casali. SPIE 7014, SPIE, 701448-701448-12 (2008)
- Hormuth, F., E. Meyer: Minor Planet Observations *Minor Planet Circulars* 6336, (2008)
- Houairi, K., F. Cassaing, G. Perrin, F. Eisenhauer, W. Brandner, C. Straubmeier, S. Gillessen: FRINGE tracking optimization with 4 beams: application to GRAVITY. In: *Optical and Infrared Interferometry*, (Eds.) Schöller, M., W. C. Danchi, F. Delplancke. SPIE 7013, SPIE, 70131B-70131B-12 (2008)
- Huisken, F., G. Rouillé, M. Arold, A. Staicu, T. Henning: Electronic Spectroscopy of Biological Molecules in Supersonic Jets: The Amino Acid Tryptophane. In: *Rarified Gas Dynamics*, (Ed.) Abe, T. AIP Conference Proceedings 1084, AIP, 539-544 (2008)
- Joergens, V.: Spectroscopic Companions of Very Young Brown Dwarfs. In: *Multiple Stars Across the H-R Diagram*, ESO Astrophysics Symposia (Eds.) Hubrig, S., M. Petr-Gotzens, A. Tokovinin. Springer, Berlin 2008, 211-217

- Joergens, V., A. Müller: Discovery of an 18-Jupiter-Mass RV companion orbiting the brown dwarf candidate Cha Ha8. In: *Extreme Solar Systems*, (Eds.) Fischer, D., F. A. Rasio, S. E. Thorsett, A. Wolszczan. ASP Conf. Ser. 398, ASP, 47-50 (2008)
- Jogee, S., S. Miller, K. Penner, E. F. Bell, C. Conselice, R. E. Skelton, R. S. Somerville, H. W. Rix, F. D. Barazza, M. Barden, A. Borch, S. V. Beckwith, J. A. R. Caldwell, B. Häussler, C. Heymans, K. Jahnke, D. McIntosh, K. Meisenheimer, C. Papovich, C. Y. Peng, A. Robaina, S. Sanchez, L. Wisotzki, C. Wolf: Frequency and impact of galaxy mergers and interactions over the last 7 Gyr. In: *Formation and Evolution of Galaxy Disks*, (Eds.) Funes, J. G., E. M. Corsini. ASP Conf. Ser. 396, ASP, 337-340 (2008)
- Kasper, M. E., J.-L. Beuzit, C. Verinaud, N. Yaitskova, P. Baudoz, A. Boccaletti, R. G. Gratton, N. Hubin, F. Kerber, R. Roelfsema, H. M. Schmid, N. A. Thatte, K. Dohlen, M. Feldt, L. Venema, S. Wolf: EPICS: the exoplanet imager for the E-ELT. In: *Adaptive Optics Systems*, (Eds.) Hubin, N., C. E. Max, P. L. Wizinowich. SPIE 7015, SPIE, 70151S-70151S-12 (2008)
- Kendrew, S., L. Jolissaint, R. J. Mathar, R. Stuik, S. Hippler, B. Brandl: Atmospheric refractivity effects on mid-infrared ELT adaptive optics. In: *Adaptive Optics Systems*, (Eds.) Hubin, N., C. E. Max, P. L. Wizinowich. SPIE 7015, SPIE, 70155T-70155T-11 (2008)
- Keremedjiev, M., S. S. Eikenberry, J. C. Carson: SPIFS performance simulations: achieving diffraction-limited spatial resolutions for spectroscopy. In: *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II*, (Eds.) McLean, I. S., M. M. Casali. SPIE 7014, SPIE, 70145Q-70145Q-8 (2008)
- Kittmann, F., F. Briegel, L. Mohr, S. Egner, W. Gaessler, J. Berwein, A. Pavlov, C. Storz: Design and implementation of a service-oriented driver architecture for LINC-NIRVANA. In: *Advanced Software and Control for Astronomy II*, (Eds.) Bridger, A., N. M. Radziwill. SOIE 7019, SPIE, 70191G-70191G-11 (2008)
- Klahr, H.: From boulders to planetary systems. *New Astronomy Reviews* 52, 78-93 (2008)
- Kleinman, S. J., J. E. Gunn, B. Boroski, D. Long, S. Snedden, A. Nitta, J. Krzesinski, M. Harvanek, E. Neilsen, B. Gillespie, J. C. Barentine, A. Uomoto, D. Tucker, D. York, S. Jester: Lessons learned from Sloan Digital Sky Survey operations. In: *Observatory Operations: Strategies, Processes, and Systems II*, (Eds.) Brissenden, R. J., D. R. Silva. SPIE 7016, SPIE, 70160B-70160B-12 (2008)
- Knudsen, K. K., J. P. Kneib, E. Egami: Extending the redshift distribution of submm galaxies: identification of a  $z \sim 4$  submm galaxy. In: *The Second Annual SPITZER Science Center Conference: Infrared Diagnostics of Galaxy Evolution*, (Eds.) Chary, R.-R., H. I. Teplitz, K. Sheth. ASP Conf. Ser. 381, ASP, 372-375 (2008)
- Koposov, S.: Searching for clusters and streams in large photometric surveys. In: *Classification and Discovery in Large Astronomical Surveys*, (Ed.) Bailer-Jones, C. A. L. AIP Conference Proceedings 1082, American Institute of Physics 233-237 (2008)
- Krause, O., S. Birkmann, T. Blümchen, A. Böhm, M. Ebert, U. Grözinger, T. Henning, R. Hofferbert, A. Huber, D. Lemke, R. R. Rohloff, S. Scheithauer, T. Gross, G. Luchtel, C. Stein, R. Stott, M. Übele, J. Amiaux, J. L. Auguères, A. Glauser, A. Zehnder, M. Meijers, R. Jager, P. Parr-Burrman, G. Wright: Cryogenic wheel mechanisms for the Mid-Infrared Instrument (MIRI) of the James Webb Space Telescope (JWST): detailed design and test results from the qualification program. In: *Advanced Optical and Mechanical Technologies in Telescopes and Instrumentation*, (Eds.) Atad-Ettinger, E., D. Lemke. SPIE 7018, SPIE, 701824-701824-10 (2008)
- Kurk, J., A. Cimatti, G. Zamorani, C. Halliday, M. Mignoli, L. Pozzetti, E. Daddi, P. Rosati, M. Dickinson, M. Bolzonella, P. Cassata, A. Renzini, A. Franceschini, G. Rodighiero, S. Berta: A spectroscopic study of a  $z = 1.6$  galaxy overdensity in the GMASS field. In: *Panoramic Views of Galaxy Formation and Evolution*, (Eds.) Kodama, T., T. Yamada, K. Aoki. ASP Conf. Ser. 399, ASP, 332-335 (2008)
- Kurk, J. D., A. Cimatti, E. Daddi, M. Dickinson, M. Mignoli, L. Pozzetti, M. Bolzonella, S. Berta, G. Zamorani, P. Cassata, G. Rodighiero, A. Franceschini, A. Renzini, P. Rosati: GMASS, Unveiling Distant Massive Galaxies with SPITZER. In: *The Second Annual SPITZER Science Center Conference: Infrared Diagnostics of Galaxy Evolution*, (Eds.) Chary, R.-R., H. I. Teplitz, K. Sheth. ASP Conf. Ser. 381, ASP, 303-308 (2008)
- Labadie, L., F. de Bonis, S. Egner, T. Herbst, P. Bizenberger, M. Kürster, A. Delboulé: Preparation of the calibration unit for LINC-NIRVANA. In: *Optical and Infrared Interferometry*, (Eds.) Schöller, M., W. C. Danchi, F. Delplancke. SPIE 7013, SPIE, 701334-701334-10 (2008)
- Labadie, L., M. Gustafsson, T. M. Herbst, M. Kasper: Resolving with SINFONI the H<sub>2</sub> emission from T Tau's disk. In: *SF2A-2008*, (Eds.) Charbonnel, C., F. Combes, R. Samadi. French Society of Astronomy and Astrophysics, 483-485 (2008)
- Labadie, L., T. M. Herbst, H. W. Rix: Interferometry at the LBT. In: *SF2A-2008*, (Eds.) Charbonnel, C., F. Combes, R. Samadi. French Society of Astronomy and Astrophysics 73-76 (2008)
- Lagarde, S., B. Lopez, R. G. Petrov, K. H. Hofmann, S. Kraus, W. Jaffe, P. Antonelli, Y. Bresson, C. Leinert, A. Matter: MATISSE: concept analysis. In: *Optical and Infrared Interferometry*, (Eds.) Schöller, M., W. C. Danchi, F. Delplancke. SPIE 7013, SPIE, 701332-701332-9 (2008)
- Lang, S., K. Jäger: 3D scene reconstruction from IR image sequences for image-based navigation update and target detection of an autonomous airborne system. In: *Infrared Technology and Applications XXXIV*, (Eds.) Andresen, B. F., G. F. Fulop, P. R. Norton. SPIE 6940, SPIE, 69401L-69401L-9 (2008)

- Launhardt, R.: Breadboarding an achromatic phase shifter for mid-infrared nulling interferometry. In: *Optical and Infrared Interferometry*, (Eds.) Schöller, M., W. C. Danchi, F. Delplancke. SPIE 7013, SPIE, 70134R-70134R-8 (2008)
- Launhardt, R., E. J. Bakker, P. Ballester, H. Baumeister, P. Bizenberger, H. Bleuler, R. Dändliker, F. Delplancke, F. Derie, M. Fleury, A. Glindemann, D. Gillet, H. Hanenburg, T. Henning, W. Jaffe, J. A. de Jong, R. Köhler, C. Maire, R. J. Mathar, D. Mégevand, Y. Michellod, P. Müllhaupt, K. Murakawa, F. Pepe, R. S. Le Poole, J. Pragt, D. Queloz, A. Quirrenbach, S. Reffert, L. Sache, Y. Salvadé, O. Scherler, D. Ségransan, J. Setiawan, D. Sosnowska, R. N. Tubbs, L. Venema, K. Wagner, L. Weber, R. Wüthrich: The PRIMA astrometric planet search project. In: *The Power of Optical/IR Interferometry: Recent Scientific Results and 2<sup>nd</sup> Generation Instrumentation* (Eds.) Richichi, A., F. Delplancke, F. Paresce, A. Chelli. ESO Astrophysics Symposia Springer, 551-553 (2008)
- Launhardt, R., T. Henning, D. Queloz, A. Quirrenbach, F. Delplancke, N. M. Elias, F. Pepe, S. Reffert, D. Sørensen, J. Setiawan, R. Tubbs: The ESPRI project: narrow-angle astrometry with VLTI-PRIMA. In: *A Giant Step: from Milli- to Micro-arcsecond Astrometry*, (Eds.) Jin, W., I. Platais, M. A. C. Perryman. IAU Symp. 248, Cambridge Univ. Press, 417-420 (2008)
- Launhardt, R., D. Queloz, T. Henning, A. Quirrenbach, F. Delplancke, L. Andolfato, H. Baumeister, P. Bizenberger, H. Bleuler, B. Chazelas, F. Dérie, L. Di Lieto, T. P. Duc, O. Duvanel, N. M. Elias, II, M. Fluery, R. Geisler, D. Gillet, U. Graser, F. Koch, R. Köhler, C. Maire, D. Mégevand, Y. Michellod, J. M. Moresmau, A. Müller, P. Müllhaupt, V. Naranjo, F. Pepe, S. Reffert, L. Sache, D. Ségransan, Y. Salvadé, T. Schulze-Hartung, J. Setiawan, G. Simond, D. Sosnowska, I. Stiliz, B. Tubbs, K. Wagner, L. Weber, P. Weise, L. Zago: The ESPRI project: astrometric exoplanet search with PRIMA. In: *Optical and Infrared Interferometry*, (Eds.) Schöller, M., W. C. Danchi, F. Delplancke. SPIE 7013, SPIE, 70132I-70132I-10 (2008)
- Lee, J. C., R. C. Kennicutt, C. W. Engelbracht, D. Calzetti, D. A. Dale, K. D. Gordon, J. J. Dalcanton, E. Skillman, A. Begum, J. G. Funes, A. Gil de Paz, B. Johnson, S. Sakai, L. van Zee, F. Walter, D. Weisz, B. Williams, Y. Wu, M. Block: The Local Volume Legacy survey. In: *Formation and Evolution of Galaxy Disks*, (Eds.) Funes, J. G., E. M. Corsini. ASP Conf. Ser. 396, ASP, 151-152 (2008)
- Leroy, A., F. Bigiel, F. Walter, E. Brinks, W. J. G. de Blok, B. Madore: Star formation in the HI Nearby Galaxy Survey. In: *Massive Star Formation: Observations Confront Theory*, (Eds.) Beuther, H., H. Linz, T. Henning. ASP Conf. Ser. 387, ASP, 408-414 (2008)
- Leroy, A., G. Dubos: Comet Observations Minor Planet Circulars 6352, (2008)
- Lim, T., J. L. Alvarez, E. Bauwens, A. Garcia Bedregal, J. Blommaert, H. Dannerbauer, P. Eccleston, M. Ferlet, S. Fischer, M. Garcia-Marin, A. Glasse, A. M. Glauser, K. Gordon, T. Greene, T. Grundy, M. Hennemann, U. Klaas, A. Labiano, F. Lahuis, J. R. Martínez-Galarza, B. M. Martin, J. Morrison, T. Nakos, B. O'Sullivan, B. Pindor, M. Ressler, B. Shaughnessy, B. Vandenbussche, M. Wells, G. Wright, J. Zuther: First results from MIRI verification model testing. In: *Space Telescopes and Instrumentation 2008: Optical, Infrared, and Millimeter*, (Eds.) Oschmann, J. M., M. W. M. de Graauw, H. MacEwen. SPIE 7010, SPIE, 70103A-70103A-12 (2008)
- Lindgren, L., C. Babusiaux, C. Bailer-Jones, U. Bastian, A. G. A. Brown, M. Cropper, E. Høg, C. Jordi, D. Katz, F. van Leeuwen, X. Luri, F. Mignard, J. H. J. de Bruijne, T. Prusti: The GAIA mission: science, organization and present status. In: *A Giant Step: from Milli- to Micro-arcsecond Astrometry*, (Eds.) Jin, W., I. Platais, M. A. C. Perryman. IAU Symp. 248, Cambridge Univ. Press, 217-223 (2008)
- Linz, H., T. Henning, B. Stecklum, A. Men'shchikov, R. van Boekel, R. Follert, M. Feldt: Dissecting massive YSOs with mid-infrared interferometry. In: *Massive Star Formation: Observations Confront Theory*, (Eds.) Beuther, H., H. Linz, T. Henning. ASP Conf. Ser. 387, ASP, 132-139 (2008)
- Linz, H., B. Stecklum, R. Follert, T. Henning, R. van Boekel, A. Men'shchikov, I. Pascucci, M. Feldt: Mid-infrared interferometry of massive young stellar objects. *Journal of Physics Conference Series* 131, 012024 (2008)
- Listowski, C., B. Goldman, C. A. L. Bailer-Jones: Search for variability in ultra-cool dwarfs spectroscopic investigation for correlated variability. In: *SF2A-2008*, (Eds.) Charbonnel, C., F. Combes, R. Samadi. French Society of Astronomy and Astrophysics, 495-496 (2008)
- Lopez, B., P. Antonelli, S. Wolf, S. Lagarde, W. Jaffe, R. Navarro, U. Graser, R. Petrov, G. Weigelt, Y. Bresson, K. H. Hofmann, U. Beckman, T. Henning, W. Laun, C. Leinert, S. Kraus, S. Robbe-Dubois, F. Vakili, A. Richichi, P. Abraham, J. C. Augereau, J. Behrend, P. Berio, N. Berruyer, O. Chesneau, J. M. Clausse, C. Connot, K. Demyk, W. C. Danchi, M. Dugué, G. Finger, S. Flament, A. Glazenberg, H. Hanenburg, M. Heininger, Y. Hugues, J. Hron, S. Jankov, F. Kerschbaum, G. Kroes, H. Linz, J. L. Lizon, P. Mathias, R. Mathar, A. Matter, J. L. Menut, K. Meisenheimer, F. Millour, N. Nardetto, U. Neumann, E. Nussbaum, A. Niedzielski, L. Mosoni, J. Olofsson, Y. Rabbia, T. Ratzka, F. Rigal, A. Roussel, D. Schertl, F. X. Schmider, B. Stecklum, E. Thiebaut, M. Vannier, B. Valat, K. Wagner, L. B. F. M. Waters: MATISSE: perspective of imaging in the mid-infrared at the VLTI. In: *MATISSE: perspective of imaging in the mid-infrared at the VLTI*, 7013, 70 (2008)
- Lopez, B., S. Wolf, M. Dugué, U. Graser, P. Mathias, P. Antonelli, J. C. Augereau, J. Behrend, N. Berruyer, Y. Bresson, O. Chesneau, C. Connot, K. Demyk, E. Difolco, A. Dutrey, S. Flament, P. Gitton, A. Glazenberg, A. Glindemann, M. Heininger, T. Henning, K. H. Hofmann, Y. Hugues, W. Jaffe, S. Jankov, S. Kraus, S. Lagarde, C. Leinert, H. Linz, K. Meisenheimer, L. Mosoni, J. L. Menut, U. Neumann, A. Niedzielski, F. Przygodda, F.

- Puech, T. Ratzka, R. Rohloff, A. Roussel, D. Schertl, F. X. Schmider, B. Stecklum, E. Thiéebaut, F. Vakili, K. Wagner, G. Weigelt: APerture synthesis in the MID-infrared with the VLTI. In: *The Power of Optical/IR Interferometry: Recent Scientific Results and 2<sup>nd</sup> Generation Instrumentation*, (Eds.) Richichi, A., F. Delplancke, F. Paresce, A. Chelli. ESO Astrophysics Symposia Springer, 345-356 (2008)
- Luque-Escamilla, P. L., J. Martí, F. Hormuth, J. A. Combi, Á. M. Arjonilla, J. R. Sánchez-Sutil: Wavelet analysis of fast photometry on Cygnus X-1 with the AstraLux camera. In: *Observational Evidence for Black Holes in the Universe*, (Eds.) Chakrabarti, S. K., A. S. Majumdar. AIP Conference Proceedings 1053, American Institute of Physics, 387-390 (2008)
- Mac Low, M. M.: Feedback processes: a theoretical perspective. In: *Massive Star Formation: Observations Confront Theory*, (Eds.) Beuther, H., H. Linz, T. Henning. ASP Conf. Ser. 387, ASP, 148-157 (2008)
- Macciò, A. V.: QSO strong gravitational lensing and the detection of dark halos. In: *Dark Galaxies and Lost Baryons*, (Eds.) Davies, J. I., M. J. Disney. IAU Symp. 244, Cambridge Univ. Press, 186-195 (2008)
- Mandel, H., W. Seifert, R. Hofmann, M. Jütte, R. Lenzen, N. Ageorges, D. Bomans, P. Buschkamp, R.-J. Dettmar, C. Feiz, H. Gemperlein, A. Germeroth, L. Geuer, J. Heidt, V. Knierim, W. Laun, M. Lehmitz, U. Mall, P. Müller, V. Naranjo, K. Polsterer, A. Quirrenbach, L. Schäffner, F. Schwind, P. Weiser, H. Weisz: LUCIFER status report: summer 2008. In: *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II*, (Eds.) McLean, I. S., M. M. Casali. SPIE 7014, SPIE, 70143S-70143S-9 (2008)
- Marinova, I., S. Jogee, D. Bacon, M. Balogh, M. Barden, F. D. Barazza, E. F. Bell, A. Böhm, J. A. R. Caldwell, M. E. Gray, B. Häussler, C. Heymans, K. Jahnke, E. van Kampen, S. Kposov, K. Lane, D. H. McIntosh, K. Meisenheimer, C. Y. Peng, H. W. Rix, S. F. Sánchez, A. Taylor, L. Wisotzki, C. Wolf, X. Zheng: Characterizing Barred Galaxies in the Abell 901/902 Supercluster from STAGES. In: *New Horizons in Astronomy: Frank N. Bash Symposium 2007* (Eds.) Frebel, A., J. R. Maund, J. Shen, M. H. Siegel. ASP Conf. Ser. 393, ASP, 231-234 (2008)
- Mathias, P., B. Lopez, J. L. Menut, O. Chesneau, F. Przygodda, N. Berruyer, S. Wolf: Dust and winds from evolved stars. In: *The Power of Optical/IR Interferometry: Recent Scientific Results and 2<sup>nd</sup> Generation Instrumentation* (Eds.) Richichi, A., F. Delplancke, F. Paresce, A. Chelli. ESO Astrophysics Symposia Springer, 517-518 (2008)
- Matter, A., W. Jaffe, M. Vannier, S. Morel, S. Lagarde, B. Lopez, F. Rantakyro, T. Rivinius, R. G. Petrov, C. Leinert: First step to detect an extrasolar planet using simultaneous observations with the two VLTI instruments AMBER and MIDI. In: *Optical and Infrared Interferometry*, (Eds.) Schöller, M., W. C. Danchi, F. Delplancke. SPIE 7013, SPIE, 701341-701341-10 (2008)
- Mayer, L., A. J. Gawryszczak: Protoplanetary disk fragmentation with varying radiative physics, initial conditions and numerical techniques. In: *Extreme Solar Systems*, (Eds.) Fischer, D., F. A. Rasio, S. E. Thorsett, A. Wolszczan. ASP Conf. Ser. 398, ASP, 243-255 (2008)
- Mayor, M., A. P. Boss, P. R. Butler, W. B. Hubbard, P. A. Ianna, M. Kürster, J. J. Lissauer, K. J. Meech, F. Mignard, A. J. Penny, A. Quirrenbach, J. C. Tarter, A. Vidal-Madjar: Commission 53: Extrasolar Planets. In: *Reports on Astronomy 2006-2009*, (Ed.) van der Hucht, K. A. Transactions of the International Astronomical Union, Series A 27A, Cambridge Univ. Press, 181-182 (2008)
- Meisenheimer, K.: Resolving the dusty tori in AGN with the VLT interferometer. In: *The Power of Optical/IR Interferometry: Recent Scientific Results and 2<sup>nd</sup> Generation Instrumentation*, (Eds.) Richichi, A., F. Delplancke, F. Paresce, A. Chelli. ESO Astrophysics Symposia Springer, 289-300 (2008)
- Meisenheimer, K., K. Tristram, W. Jaffe: Resolving the dust tori in AGN with the VLT interferometer. In: *Relativistic Astrophysics Legacy and Cosmology – Einstein's* (Eds.) Aschenbach, B., V. Burwitz, G. Hasinger, B. Leibundgut. ESO Astrophysics Symposia Springer, 253-260 (2008)
- Menut, J. L., Y. Bresson, Y. Hugues, S. Flament, P. Antonelli, A. Roussel, N. Schweitzer, P. Antonelli, S. Lagarde, M. Dugué, B. Lopez, S. Wolf, U. Graser, S. Jankov, T. Ratzka, L. Mosoni, A. Niedzielski, E. Thiéebaut: A model experiment for APreS-MIDI. In: *The Power of Optical/IR Interferometry: Recent Scientific Results and 2<sup>nd</sup> Generation Instrumentation* (Eds.) Richichi, A., F. Delplancke, F. Paresce, A. Chelli. ESO Astrophysics Symposia Springer, 575-576 (2008)
- Michielsen, D., M. Koleva, S. de Rijcke, W. W. Zeilinger, P. Prugniel, H. Dejonghe, A. Pasquali, I. Ferreras, V. P. Debattista: Stellar populations in dwarf elliptical galaxies. In: *Pathways Through an Eclectic Universe* (Eds.) Knapen, J. H., T. J. Mahoney, A. Vazdekis. ASP Conf. Ser. 390, ASP, 308-309 (2008)
- Mignard, F., C. Bailer-Jones, U. Bastian, R. Drimmel, L. Eyer, D. Katz, F. van Leeuwen, X. Luri, W. O'Mullane, X. Passot, D. Pourbaix, T. Prusti: GAIA: organisation and challenges for the data processing. In: *A Giant Step: from Milli- to Micro-arcsecond Astrometry*, (Eds.) Jin, W., I. Platais, M. A. C. Perryman. IAU Symp. 248, Cambridge Univ. Press 224-230 (2008)
- Miller, S. H., S. Jogee, C. Conselice, K. Penner, E. Bell, X. Zheng, C. Papovich, R. Skelton, R. Somerville, H. W. Rix, F. Barazza, M. Barden, A. Borch, S. Beckwith, J. Caldwell, B. Häussler, C. Heymans, K. Jahnke, D. McIntosh, K. Meisenheimer, C. Peng, A. Robaina, S. Sanchez, L. Wisotzki, C. Wolf: Exploring the impact of galaxy interactions over seven billion years with CAS. In: *New Horizons in Astronomy: Frank N. Bash Symposium 2007*, (Eds.) Frebel, A., J. R. Maund, J. Shen, M. H. Siegel. ASP Conf. Ser. 393, ASP, 235-238 (2008)
- Moro-Martín, A., R. Malhotra, J. M. Carpenter, L. A. Hillenbrand, S. Wolf, M. R. Meyer, D. Hollenback, J. Najita, T. Henning: Dust in the HD 38529 planetary sy-

- stem. In: *Extreme Solar Systems*, (Eds.) Fischer, D., F. A. Rasio, S. E. Thorsett, A. Wolszczan. ASP Conf. Ser. 398, ASP, 333-337 (2008)
- Mosoni, L., S. Wolf, B. Lopez, F. Przygodda, T. Ratzka, J.-L. Menut: From the VLBI to the VLTI: an APreS-MIDI image reconstruction study. In: *The Power of Optical/IR Interferometry: Recent Scientific Results and 2<sup>nd</sup> Generation Instrumentation* (Eds.) Richichi, A., F. Delplancke, F. Paresce, A. Chelli. ESO Astrophysics Symposia Springer, 577-578 (2008)
- Müller Sánchez, F., F. Eisenhauer, M. Haug, C. Gál, A. Krabbe, T. M. Herbst: Coupling LBT's double pupil into optical fibers. In: *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II*, (Eds.) McLean, I. S., M. M. Casali. SPIE 7014, SPIE, 70144I-70144I-12 (2008)
- Müller Sánchez, F., C. Gál, F. Eisenhauer, A. Krabbe, M. Haug, C. Iserlohe, T. M. Herbst: LIINUS/SERPIL: a design study for interferometric imaging spectroscopy at the LBT. In: *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II*, (Eds.) McLean, I. S., M. M. Casali. SPIE 7014, SPIE, 701425-701425-12 (2008)
- Nicol, M. H., K. Meisenheimer, C. Wolf, I. Franco: Galaxy Population out to  $z = 2$  by COMBO17+4. In: *Panoramic Views of Galaxy Formation and Evolution*, (Eds.) Kodama, T., T. Yamada, K. Aoki. ASP Conf. Ser. 399, ASP, 207-208 (2008)
- Ohnaka, K., J. Bergeat, T. Driebe, U. Graser, K. H. Hofmann, R. Köhler, C. Leinert, B. Lopez, F. Malbet, S. Morel, F. Paresce, G. Perrin, T. Preibisch, A. Richichi, D. Schertl, M. Schöller, H. Sol, G. Weigelt, M. Wittkowski: The circumstellar environment of evolved stars as seen by VLTI/MIDI. In: *The Power of Optical/IR Interferometry: Recent Scientific Results and 2<sup>nd</sup> Generation Instrumentation*, (Eds.) Richichi, A., F. Delplancke, F. Paresce, A. Chelli. ESO Astrophysics Symposia Springer, 111-115 (2008)
- Ott, J., E. Skillman, J. Dalcanton, F. Walter, A. Stilp, B. Koribalski, A. West, S. Warren: Connecting Gas Dynamics and Star Formation Histories in Nearby Galaxies: The VLA-ANGST Survey. In: *The Evolution of Galaxies Through the Neutral Hydrogen Window*, (Eds.) Minchin, R., E. Momjian. AIP Conference Proceedings 1035, AIP 105-111 (2008)
- Pasquini, L., M. P. Döllinger, A. Hatzes, J. Setiawan, L. Girardi, L. da Silva, J. R. de Medeiros, A. Weiss: Testing planet formation theories with giant stars. In: *Exoplanets: Detection, Formation and Dynamics*, (Eds.) Sun, Y.-S., S. Ferraz-Mello, J.-L. Zhou. IAU Symp. 249, Cambridge Univ. Press, 209-222 (2008)
- Pavlov, A., M. Feldt, T. Henning: Data reduction and handling for SPHERE. In: *Astronomical Data Analysis Software and Systems XVII*, (Eds.) Argyle, R. W., P. S. Bunclark, J. R. Lewis. ASP Conf. Ser. 394, ASP, 581-584 (2008)
- Pavlov, A., O. Möller-Nilsson, M. Feldt, T. Henning, J.-L. Beuzit, D. Mouillet: SPHERE data reduction and handling system: overview, project status, and development. In: *Advanced Software and Control for Astronomy II*, (Eds.) Bridger, A., N. M. Radziwill. SPIE 7019, SPIE, 701939-701939-12 (2008)
- Pavlov, A., J. Trowitzsch, W. Gässler, J. Berwein: LINC-NIRVANA observation preparation software: a flexible approach. In: *Optical and Infrared Interferometry*, (Eds.) Schöller, M., W. C. Danchi, F. Delplancke. SPIE 7013, SPIE, 701336-701336-11 (2008)
- Pepe, F., D. Queloz, T. Henning, A. Quirrenbach, F. Delplancke, L. Andolfato, H. Baumeister, P. Bizenberger, H. Bleuler, B. Chazelas, F. D'Érie, L. Di Lieto, T. P. Duc, O. Duvanel, M. Fleury, D. Gillet, U. Graser, F. Koch, R. Launhardt, C. Maire, D. Mégevand, Y. Michellod, J. M. Moresmau, P. Müllhaupt, V. Naranjo, L. Sache, Y. Salvadé, G. Simond, D. Sosnowska, K. Wagner, L. Zago: The ESPRI Project: differential delay lines for PRIMA. In: *Optical and Infrared Interferometry*, (Eds.) Schöller, M., W. C. Danchi, F. Delplancke. SPIE 7013, SPIE, 70130P-12 (2008)
- Poglitsch, A., C. Waelkens, O. H. Bauer, J. Cepa, H. Feuchtgruber, T. Henning, C. van Hoof, F. Kerschbaum, O. Krause, E. Renotte, L. Rodriguez, P. Saraceno, B. Vandenbussche: The Photodetector Array Camera and Spectrometer (PACS) for the HERSCHEL Space Observatory. In: *Space Telescopes and Instrumentation 2008: Optical, Infrared, and Millimeter*, (Eds.) Oschmann, J. M., M. W. M. de Graauw, H. A. MacEwen. SPIE 7010, SPIE, 701005-701005-12 (2008)
- Pott, J. U., A. Eckart, A. Glindemann, T. Viehmann, C. Leinert: VLTI/MIDI measurements of extended mid-infrared emission in the galactic center. In: *The Power of Optical/IR Interferometry: Recent Scientific Results and 2<sup>nd</sup> Generation Instrumentation* (Eds.) Richichi, A., F. Delplancke, F. Paresce, A. Chelli. ESO Astrophysics Symposia Springer, 533-534 (2008)
- Preibisch, T., T. Driebe, S. Kraus, R. Lachaume, R. V. Boekel, G. Weigelt: VLTI MIDI observations of the Herbig Ae Star HR 5999. In: *The Power of Optical/IR Interferometry: Recent Scientific Results and 2<sup>nd</sup> Generation Instrumentation*, (Eds.) Richichi, A., F. Delplancke, F. Paresce, A. Chelli. ESO Astrophysics Symposia Springer, 249-253 (2008)
- Puga, E., A. Bik, L. B. F. M. Waters, T. Henning, L. Kaper, M. van den Ancker, A. Lenorzer, E. Churchwell, S. Kurtz, J. A. Rodón, T. Vasyunina, M. B. N. Kouwenhoven, H. Beuther, H. Linz, M. Horrobin, A. Stolte, A. de Koter, W. F. Thi, N. L. Martín-Hernández, B. Acke, F. Comeron, G. van der Plas, C. Waelkens, C. Dominik, M. Feldt: Probing the early evolution of young high-mass stars. In: *Massive Star Formation: Observations Confront Theory* (Eds.) Beuther, H., H. Linz, T. Henning. ASP Conf. Ser. 387, ASP, 331-337 (2008)
- Quanz, S. P., T. Henning, C. Leinert, T. Ratzka, S. Wolf: FU Orionis – the MIDI perspective. In: *The Power of Optical/IR Interferometry: Recent Scientific Results and 2<sup>nd</sup> Generation Instrumentation*, (Eds.) Richichi, A.,

- F. Delplancke, F. Paresce, A. Chelli. ESO Astrophysics Symposia Springer, 243-247 (2008)
- Rabien, S., N. Ageorges, R. Angel, G. Brusa, J. Brynnel, L. Busoni, R. Davies, M. Deysenroth, S. Esposito, W. Gässler, R. Genzel, R. Green, M. Haug, M. Lloyd Hart, G. Hölzl, E. Masciadri, R. Pogge, A. Quirrenbach, M. Rademacher, H. W. Rix, P. Salinari, C. Schwab, T. Stalcup, Jr., J. Storm, L. Strüder, M. Thiel, G. Weigelt, J. Ziegleder: The laser guide star program for the LBT. In: Adaptive Optics Systems, (Eds.) Hubin, N., C. E. Max, P. L. Wizinowich. SPIE 7015, SPIE, 701515-701515-12 (2008)
- Rabien, S., S. Gillessen, J. Ziegleder, M. Thiel, A. Gräter, M. Haug, F. Eisenhauer, G. Perrin, W. Brandner, C. Straubmeier: FRINGE detection laser metrology for differential astrometric stellar interferometers. In: Optical and Infrared Interferometry, (Eds.) Schöller, M., W. C. Danchi, F. Delplancke. SPIE 7013, SPIE, 70130I-70130I-12 (2008)
- Ratzka, T., C. Leinert: Observing T Tauri stars in the mid-infrared with MIDI. In: The Power of Optical/IR Interferometry: Recent Scientific Results and 2<sup>nd</sup> Generation Instrumentation, (Eds.) Richichi, A., F. Delplancke, F. Paresce, A. Chelli. Springer, 269-273 (2008)
- Ratzka, T., C. Leinert, F. Przygodda, S. Wolf: VV CrA - the dusty environment of an infrared companion. In: The Power of Optical/IR Interferometry: Recent Scientific Results and 2<sup>nd</sup> Generation Instrumentation, (Eds.) Richichi, A., F. Delplancke, F. Paresce, A. Chelli. ESO Astrophysics Symposia Springer, 519-521 (2008)
- Re Fiorentin, P., C. A. L. Bailer-Jones, T. C. Beers, T. Zwitter: On spectral classification and astrophysical parameter estimation for Galactic surveys. In: Classification and Discovery in Large Astronomical Surveys, (Ed.) Bailer-Jones, C. A. L. AIP Conference Proceedings 1082, AIP, 76-82 (2008)
- Rodler, F., M. Kürster: Towards the detection of reflected light from exo-planets: a comparison of two methods. In: Precision Spectroscopy in Astrophysics, (Eds.) Santos, N. C., L. Pasquini, A. C. M. Correia, M. Romaniello. ESO, 315-316 (2008)
- Rodler, F., M. Kürster: An upper limit on star light reflected from the hot Jupiter HD 75289 b. In: Extreme Solar Systems, (Eds.) Fischer, D., F. A. Rasio, S. E. Thorsett, A. Wolszczan. ASP Conf. Ser. 398, ASP, 397-398 (2008)
- Rodríguez-Ledesma, M. V., R. Mundt, J. Eislöffel, W. Herbst: Angular momentum evolution of young very low mass stars and brown dwarfs: the Orion Nebula cluster. In: Proceedings of the 15<sup>th</sup> Young Scientists' Conference on Astronomy and Space Physics, (Eds.) Cholyi, V. Y., G. Ivashchenko. Kyivskiyi University, 21-24 (2008)
- Rohloff, R.-R., T. Blümchen, M. Feldt, V. Naranjo, J. Ramos, K.-D. Müller, H. Marth, P. Pertsch, K. Dohlen: A cryogenic dithering stage for moving SPHERE-IRDIS' detector. In: Advanced Optical and Mechanical Technologies in Telescopes and Instrumentation, (Eds.) Atad-Ettinger, E., D. Lemke. SPIE 7018, SPIE, 701829-701829-11 (2008)
- Roussel, H., G. Helou, J. D. Smith: NGC 1377: an extragalactic proto-starburst. In: Infrared Diagnostics of Galaxy Evolution, (Eds.) Chary, R.-R., H. I. Teplitz, K. Sheth. ASP Conf. Ser. 381, ASP, 297-300 (2008)
- Sandstrom, K., A. Bolatto, A. Leroy, S. Stanimirovic, J. D. Simon, L. Staveley-Smith, R. Shah: The far-IR radio continuum correlation in the Small Magellanic Cloud. In: Infrared Diagnostics of Galaxy Evolution, (Eds.) Chary, R.-R., H. I. Teplitz, K. Sheth. ASP Conf. Ser. 381, ASP, 268-271 (2008)
- Schartmann, M., K. Meisenheimer, M. Camenzind, S. Wolf, T. Henning: 3D-Models of Clumpy Tori in Seyfert Galaxies. In: Relativistic Astrophysics Legacy and Cosmology - Einstein's, (Eds.) Aschenbach, B., V. Burwitz, G. Hasinger, B. Leibundgut. ESO Astrophysics Symposia Springer, 283-286 (2008)
- Schartmann, M., K. Meisenheimer, H. Klahr, M. Camenzind, S. Wolf, T. Henning: Turbulent AGN tori. *Memorie della Societa Astronomica Italiana* 79, 1132-1135 (2008)
- Schinnerer, E.: Gas Kinematics from the center to the outer disk. In: large version
- Mapping the Galaxy and Nearby Galaxies (Eds.) Wada, K., F. Combes. Astrophysics and Space Science Proceedings Springer Science+Business Media, 186-193 (2008)
- Schinnerer, E., T. Böker, E. Emsellem, U. Lisenfeld, D. Downes: Building up mass in the centers of late type galaxies. In: Formation and Evolution of Galaxy Bulges, (Eds.) Bureau, M., E. Athanassoula, B. Barbur. IAU Symp. 245, Cambridge Univ. Press 169-172 (2008)
- Schreiber, L., M. Lombini, I. Foppiani, D. Meschke, F. De Bonis, P. Bizenberger, G. Bregoli, G. Cosentino, E. Diolaiti, S. Egner, J. Farinato, W. Gaessler, T. Herbst, G. Innocenti, F. Kittmann, L. Mohr, R. Ragazzoni, R.-R. Rohloff: Integration of the mid-high wavefront sensor to the LINC-NIRVANA post-focal relay. In: Adaptive Optics Systems, (Eds.) Hubin, N., C. E. Max, P. L. Wizinowich. SPIE 7015, SPIE, 70155A-70155A-11 (2008)
- Schwartz, D. A., A. Siemiginowska, D. M. Worrall, M. Birkinshaw, D. L. Jauncey, J. E. J. Lovell, D. W. Murphy, E. S. Perlman, M. Georganopoulos, J. M. Gelbord, G. V. Bicknell, L. Godfrey, S. Jester, H. L. Marshall: A deep CHANDRA observation of the PKS 1055+201 jets, lobes, and hotspots. In: Extragalactic Jets: Theory and Observation from Radio to GAMMA Ray, (Eds.) Rector, T. A., D. S. De Young. ASP Conf. Ser. 386, ASP, 63-69 (2008)
- Schweitzer, M., A. Poglitsch, W. Raab, R. Klein, R. Hönle, N. Geis, R. Genzel, L. W. Looney, M. Hamidouche, T. K. Henning: Verification of the optical system performance of FIFI-LS: the field-imaging far-infrared line spectrometer for SOFIA. In: Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II (Eds.) McLean, I. S., M. M. Casali. SPIE 7014, SPIE, 70140Z-70140Z-10 (2008)
- Setiawan, J., P. Weise, T. Henning, A. P. Hatzes, L. Pasquini, L. D. Silva, L. Girardi, O. von der Lühe, M. P. Döllinger,

- A. Weiss, K. Biazzo: Planets around active stars. In: Precision Spectroscopy in Astrophysics, (Eds.) Santos, N. C., L. Pasquini, A. C. M. Correia, M. Romaniello. Springer, 201-204 (2008)
- Setiawan, J., D. Weldrake, C. Afonso, T. Henning, R. Launhardt, A. Müller, P. Weise: MAESTRO-1 b: A Transiting Planet in a Close Binary? In: Extreme Solar Systems, (Eds.) Fischer, D., F. A. Rasio, S. E. Thorsett, A. Wolszczan. ASP Conf. Ser. 398, ASP, 113-115 (2008)
- Silva, L. D., L. Girardi, L. Pasquini, R. de Medeiros, J. Setiawan, M. Döllinger, A. Hatzes, A. Weiss: Si and Ca abundances of a selected sample of evolved stars. In: Precision Spectroscopy in Astrophysics, (Eds.) Santos, N. C., L. Pasquini, A. C. M. Correia, M. Romaniello. ESO Astrophysics Symposia Springer, 273-274 (2008)
- Smareglia, R., F. Gasparo, P. Manzato, A. Fontana, D. Thompson, R. Gredel: The distributed archive for the LBC/LBT science demonstration time. In: Astronomical Data Analysis Software and Systems, (Eds.) Argyle, R. W., P. S. Bunclark, J. R. Lewis. ASP Conf. Ser. 394, ASP, 442-445 (2008)
- Smith, K., C. Tiede, C. Elting, C. A. L. Bailer-Jones: Automated classification of GAIA sources. In: Astronomical Data Analysis Software and Systems XVII, (Eds.) Argyle, R. W., P. S. Bunclark, J. R. Lewis. ASP Conf. Ser. 394, ASP, 539-542 (2008)
- Smith, K. W., C. A. L. Bailer-Jones, C. Elting, C. Tiede: Point source classification from GAIA photometry. In: Classification and Discovery in Large Astronomical Surveys, (Ed.) Bailer-Jones, C. A. L. AIP Conference Proceedings 1082, AIP, 29-36 (2008)
- Somerville, R. S.: The co-evolution of galaxies, black holes, and AGN in a hierarchical universe. In: Panoramic Views of Galaxy Formation and Evolution, (Eds.) Kodama, T., T. Yamada, K. Aoki. ASP Conf. Ser. 399, ASP, 391-397 (2008)
- Stegmaier, J. M., S. M. Birkmann, U. Grözinger, O. Krause, D. Lemke: Preparing HERSCHEL's commissioning phase: Ge:Ga detector tuning. In: Space Telescopes and Instrumentation 2008: Optical, Infrared, and Millimeter, (Eds.) Oschmann, J. M., M. W. M. de Graauw, H. A. MacEwen. SPIE 7010, SPIE, 701009-701009-12 (2008)
- Steinacker, J., R. Chini, M. Nielbock, D. E. A. Nürnberger, V. Hoffmeister, J. M. Hure, D. Semenov, C. M. Scheyda, R. Siebenmorgen: Evidence for disks around young massive stars from 3D radiative transfer image modeling. In: Massive Star Formation: Observations Confront, (Eds.) Beuther, H., H. Linz, T. Henning. ASP Conf. Ser. 387, ASP, 270-275 (2008)
- Stoesz, J., E. Masciadri, S. Hagelin, F. Lascaux, S. Egner: G-Scidar measurements of the optical turbulence with standard and high vertical resolution at Mt. Graham. In: Ground-based and Airborne Telescopes II, (Eds.) Stepp, L. M., R. Gilmozzi. SPIE 7012, SPIE, 70121W-70121W-12 (2008)
- Stolte, A., A. M. Ghez, M. R. Morris, J. R. Lu, W. Brandner, K. Matthews: The orbital motion of the Arches cluster – clues on cluster formation near the galactic center. Journal of Physics Conference Series 131, 012015 online (2008)
- Straubmeier, C., F. Eisenhauer, G. Perrin, W. Brandner, A. Eckart: Opto-mechanical design of the spectrometers of GRAVITY: the 6-baseline K-band interferometer for the VLTI. In: Optical and Infrared Interferometry, (Eds.) Schöller, M., W. C. Danchi, F. Delplancke. SPIE 7013, SPIE, 701331-701331-9 (2008)
- Tamburro, D., H. W. Rix, F. Walter, E. Brinks, W. J. G. de Blok, R. C. Kennicutt, M. M. Mac Low: Star formation is very rapid in spiral galaxies. In: Formation and Evolution of Galaxy Disks, (Eds.) Funes, J. G., E. M. Corsini. ASP Conf. Ser. 396, ASP, 163-166 (2008)
- Thalmann, C., H. M. Schmid, A. Boccaletti, D. Mouillet, K. Dohlen, R. Roelfsema, M. Carillet, D. Gisler, J.-L. Beuzit, M. Feldt, R. Gratton, F. Joos, C. U. Keller, J. Kragt, J. H. Pragt, P. Puget, F. Rigal, F. Snik, R. Waters, F. Wildi: SPHERE ZIMPOL: overview and performance simulation. In: Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II, (Eds.) McLean, I. S., M. M. Casali. SPIE 7014, SPIE, 70143F-70143F-12 (2008)
- Tiede, C., K. Smith, C. A. L. Bailer-Jones: Astrophysical Parameter Estimation for GAIA using Machine Learning Algorithms. In: Astronomical Data Analysis Software and Systems XVII, (Eds.) Argyle, R. W., P. S. Bunclark, J. R. Lewis. ASP Conf. Ser. 394, ASP, 531-538 (2008)
- Tomono, D., W. Gaessler, T. Nishimura: Conceptual design of IR multi-IFU spectrograph with MOAO. In: Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II, (Eds.) McLean, I. S., M. M. Casali. SPIE 7014, SPIE, 70141B-70141B-10 (2008)
- Tristram, K. R. W., D. Raban, L. Burtscher, K. Meisenheimer, W. J. Jaffe: Resolving the dusty cores of nearby AGN with mid-infrared interferometry. *Memorie della Societa Astronomica Italiana* 79, 1144-1147 (2008)
- Tsalmantza, P., M. Kontizas, B. Rocca-Volmerange, C. A. L. Bailer-Jones, E. Kontizas, I. Bellas-Velidis, R. Korakitis, E. Livanou, A. Dapergolas, A. Vallenari, M. Fioc: Classification and parametrization of unresolved galaxies with GAIA. In: Classification and Discovery in Large Astronomical Surveys, (Ed.) Bailer-Jones, C. A. L. AIP Conference Proceedings 1082, AIP, 111-118 (2008)
- Tubbs, R., N. M. Elias, R. Launhardt, S. Reffert, F. Delplancke, A. Quirrenbach, T. Henning, D. Queloz: ESPRI data-reduction strategy and error budget for PRIMA. In: A Giant Step: from Milli- to Micro-arcsecond Astrometry, (Eds.) Jin, W., I. Platais, M. A. C. Perryman. IAU Symp. 248, Cambridge Univ. Press, 132-133 (2008)
- Wagner, K., U. Mall, J. Ramos, R. Klein: New read-out electronics concept for visual and infrared detector arrays in astronomical instrumentation. In: Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II, (Eds.) McLean, I. S., M. M. Casali. SPIE 7014, SPIE, 70145S-70145S-9 (2008)

- Walter, F.: Molecular gas in the early universe. In: Mapping the Galaxy and Nearby Galaxies, (Eds.) Wada, K., F. Combes. Astrophysics and Space Science Proceedings Springer Science+Business Media, 290-295 (2008)
- Walter, F., C. Carilli: First light – centimeter/millimeter observations. In: Frontiers of Astrophysics: A Celebration of NRAO's 50<sup>th</sup> Anniversary (Eds.) Bridle, A. H., J. J. Condon, G. C. Hunt. ASP Conf. Ser. 395, ASP, 49-58 (2008)
- Waters, L. B. F. M., C. Leinert: Mineralogy of Circumstellar Dust. In: The Power of Optical/IR Interferometry: Recent Scientific Results and 2<sup>nd</sup> Generation Instrumentation, (Eds.) Richichi, A., F. Delplancke, F. Paresce, A. Chelli. ESO Astrophysics Symposia Springer, 163-173 (2008)
- Weidlich, K., M. Fischer, M. M. Ellenrieder, T. Gross, J.-C. Salvignol, R. Barho, C. Neugebauer, G. Königsreiter, M. Trunz, F. Müller, O. Krause: High-precision cryogenic wheel mechanisms for the JWST NIRSPEC instrument. In: Advanced Optical and Mechanical Technologies in Telescopes and Instrumentation, (Eds.) Atad-Ettingui, E., D. Lemke. SPIE 7018, SPIE, 701821-701821-12 (2008)
- Weise, P., J. Setiawan, T. Henning, A. Müller: High-resolution spectroscopic characterization of young stars. In: Precision Spectroscopy in Astrophysics, (Eds.) Santos, N. C., L. Pasquini, A. C. M. Correia, M. Romaniello. ESO Astrophysics Symposia Springer, 325-326 (2008)
- Weldrake, D. T. F.: Searching for planetary transits in star clusters. In: Extreme Solar Systems, (Eds.) Fischer, D., F. A. Rasio, S. E. Thorsett, A. Wolszczan. ASP Conf. Ser. 398, ASP, 133-136 (2008)
- Wildi, F., J.-L. Beuzit, M. Feldt, D. Mouillet, K. Dohlen, P. Puget: The SPHERE exoplanet imager: a new management paradigm? In: Modeling, Systems Engineering, and Project Management for Astronomy III, (Eds.) Angeli, G. Z., M. J. Cullum. SPIE 7017, SPIE, 70170L-70170L-9 (2008)
- Wright, D., B. O'Sullivan, J. Thatcher, I. Renouf, G. Wright, M. Wells, A. Glasse, U. Grözinger, J. Sykes, D. Smith, P. Eccleston, B. Shaughnessy: System engineering and management in a large and diverse multinational consortium. In: Modeling, Systems Engineering, and Project Management for Astronomy III, (Eds.) Angeli, G. Z., M. J. Cullum. 7017, SPIE, 701708-701708-12 (2008)
- Wright, G. S., G. Reike, P. Barella, T. Boeker, L. Colina, E. van Dishoeck, P. Driggers, G. Goodson, T. Greene, A. Heske, T. Henning, P. O. Lagage, M. Meixner, H. Norgaard-Nielsen, G. Olofsson, T. Ray, M. Ressler, J. Thatcher, C. Waelkens, D. Wright, A. Zehnder: Design and development of MIRI, the mid-IR instrument for JWST. In: Space Telescopes and Instrumentation 2008: Optical, Infrared, and Millimeter, (Eds.) Oschmann, J. M., M. W. M. de Graauw, H. A. MacEwen. SPIE 7010, SPIE, 70100T-70100T-10 (2008)
- Youdin, A. N., A. Johansen: Planetesimal formation with particle feedback. In: Extreme Solar Systems, (Eds.) Fischer, D., F. A. Rasio, S. E. Thorsett, A. Wolszczan. ASP Conf. Ser. 398, ASP, 219-224 (2008)
- Young, J. S., W. D. Cotton, W. Gässler, R. Millan-Gabet, J. D. Monnier, T. A. Pauls, I. Percheron: Recent developments in optical interferometry data standards. In: Optical and Infrared Interferometry, (Eds.) Schöller, M., W. C. Danchi, F. Delplancke. SPIE 7013, SPIE, 70134H-70134H-9 (2008)
- Zatloukal, M., H. J. Röser, C. Wolf, H. Hippelein, S. Falter: Distant Galaxy Clusters in the COSMOS Field Found by HIROCS. In: Panoramic Views of Galaxy Formation and Evolution, (Eds.) Kodama, T., T. Yamada, K. Aoki. ASP Conf. Ser. 399, ASP, 125-126 (2008)
- Zinnecker, H., H. Beuther: Summary of panel discussion II: theoretical models and observational constraints in high-mass star formation. In: Massive Star Formation: Observations Confront Theory, (Eds.) Beuther, H., H. Linz, T. Henning. ASP Conf. Ser. 387, ASP, 438-443 (2008)

#### Tagungsberichte und Bücher

- Atad-Ettingui, E., D. Lemke (Eds.): Advanced Optical and Mechanical Technologies in Telescopes and Instrumentation, SPIE 7018, SPIE, Bellingham, Wash. 2008, 1866 pp
- Bailer-Jones, C. A. L. (Ed.): Classification and discovery in large astronomical surveys. AIP conference proceedings 1082. American Inst. of Physics, Melville, N.Y. 2008, 377 pp
- Beuther, H., H. Linz, T. Henning (Eds.): Massive Star Formation: Observations Confront Theory. In: ASP Conf. Ser. 387, ASP, San Francisco, 2008, 470 pp

#### Eingeladene Beiträge und Übersichtsartikel

- Beuther, H.: (Sub)mm interferometry applications in star formation research. In: Jets from Young Stars II: Clues from High Angular Resolution Observations Lecture Notes in Physics, Vol. 742, (Eds.) Bacciotti, F., E. Whelan, L. Testi. Springer Berlin 2008, 219-239
- Beuther, H.: Massive star formation: the power of interferometry. In: Cosmic Matter, Reviews in Modern Astronomy, Vol. 20, (Ed.) Röser, S. Wiley-VCH, Weinheim 2008, 15-39
- Dullemond, C. P., F. Brauer, T. Henning, A. Natta: Dust coagulation and processing in an evolving disk. Physica Scripta. T 130, 014015 (2008)
- Henning, T.: Early phases of planet formation in protoplanetary disks. Physica Scripta Volume T 130, 4019 (2008)
- Henning, T., D. Semenov: The birth and death of organic molecules in protoplanetary disks. In: Organic Matter in

Space, (Eds.) Kwok, S., S. Sandford. IAU Symp. 251, Cambridge Univ. Press, 89-98 (2008)

Jäger, C., H. Mutschke, I. Llamas-Jansa, T. Henning, F. Huisken: Laboratory analogs of carbonaceous matter: Soot and its precursors and by-products. In: Organic Matter in Space, (Eds.) Kwok, S., S. Sandford. IAU Symp. 251, Cambridge Univ. Press 425-432 (2008)

Meisenheimer, K.: The assembly of present-day galaxies as witnessed by deep surveys. In: Cosmic Matter, Reviews in Modern Astronomy, Vol. 20, (Ed.) Röser, S. Wiley-VCH, Weinheim 2008, 279-306

van Boekel, R.: 10 mm interferometry of disks around young stars. Journal of Physics Conference Series 131, 012023 online (2008)

### Habilitationsschriften

Beuther, H.: The formation of massive star. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2008

### Doktorarbeiten

Bigiel, F.: The spatially resolved star formation law in nearby galaxies. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2008

Boudreault, S.: The formation of brown dwarfs as revealed by the mass function of IC 2391. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2008

Chen, X.: High angular resolution observations of binary protostars. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2008

Debieu, O.: Optical characterization of luminescent silicon nanocrystals embedded in glass matrices. Friedrich-Schiller-Universität Jena, 2008

Haan, S.: Feeding black holes: gas dynamics from the outer disk to the very nucleus in AGN galaxies. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2008

Janson, M.: Direct imaging searches for substellar companions to nearby stars. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2008

Klement, R.: Stellar phase-space structure and dynamics in the solar neighbourhood. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2008

Peter, D.: Massive star formation at high angular resolution. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2008

Rodler, F.: Towards the atmospheres of extrasolar planets: the search for starlight reflected from hot Jupiters. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2008

Tamburro, D.: Small-scale kinematics of HI in nearby spiral galaxies. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2008

Zatloukal, M.: A search for distant cluster of galaxies in the COSMOS field. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2008

### Diplomarbeiten

Aquino, D.: Galaxy bimodality as function of halo mass. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2008

Daemgen, S.: Detection and characterization of extra solar planets and their host stars. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2008

Datson, J. C.: Spectroscopy of brown dwarf candidates in Taurus. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2008

Junginger, T.: Entwicklung, Erprobung und Weltraumqualifikation magnetoresistiver Positionssensoren für das James-Webb-Weltraumteleskop JWST. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2008

Müller, A.: Untersuchung der Variabilität naher junger Sterne. Friedrich-Schiller-Universität Jena, 2008

Schulze-Hartung, T.: Bayesian astrometric and spectroscopic exoplanet detection and characterization software. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2008

Sommerfeld, J.: Charakterisierung von einzelnen Silizium-Quantenpunkten. Friedrich-Schiller-Universität Jena, 2008

### Populärwissenschaftliche Schriften

Jahnke, K., E. Schinnerer, F. Bertoldi, G. Hasinger: Das Fenster zum COSMOS. Physik Journal 7,7, 31-38 (2008)

Lemke, D.: Das Weltraumteleskop HERSCHEL vor dem Start. Sterne und Weltraum 47,1, 36-46 (2008)

Lemke, D.: Die Zukunft ist licht – aber teuer. Sterne und Weltraum 47,10, 28-35 (2008)

Lemke, D., H. Mandel, U. Reichert: Wieviel Energie liefert uns die Sonne? Sterne und Weltraum 47,6, 30-34 (2008)

Martínez-Sansigre, A.: Cuásares ocultos. Astronomía 105, 26-33 (2008)

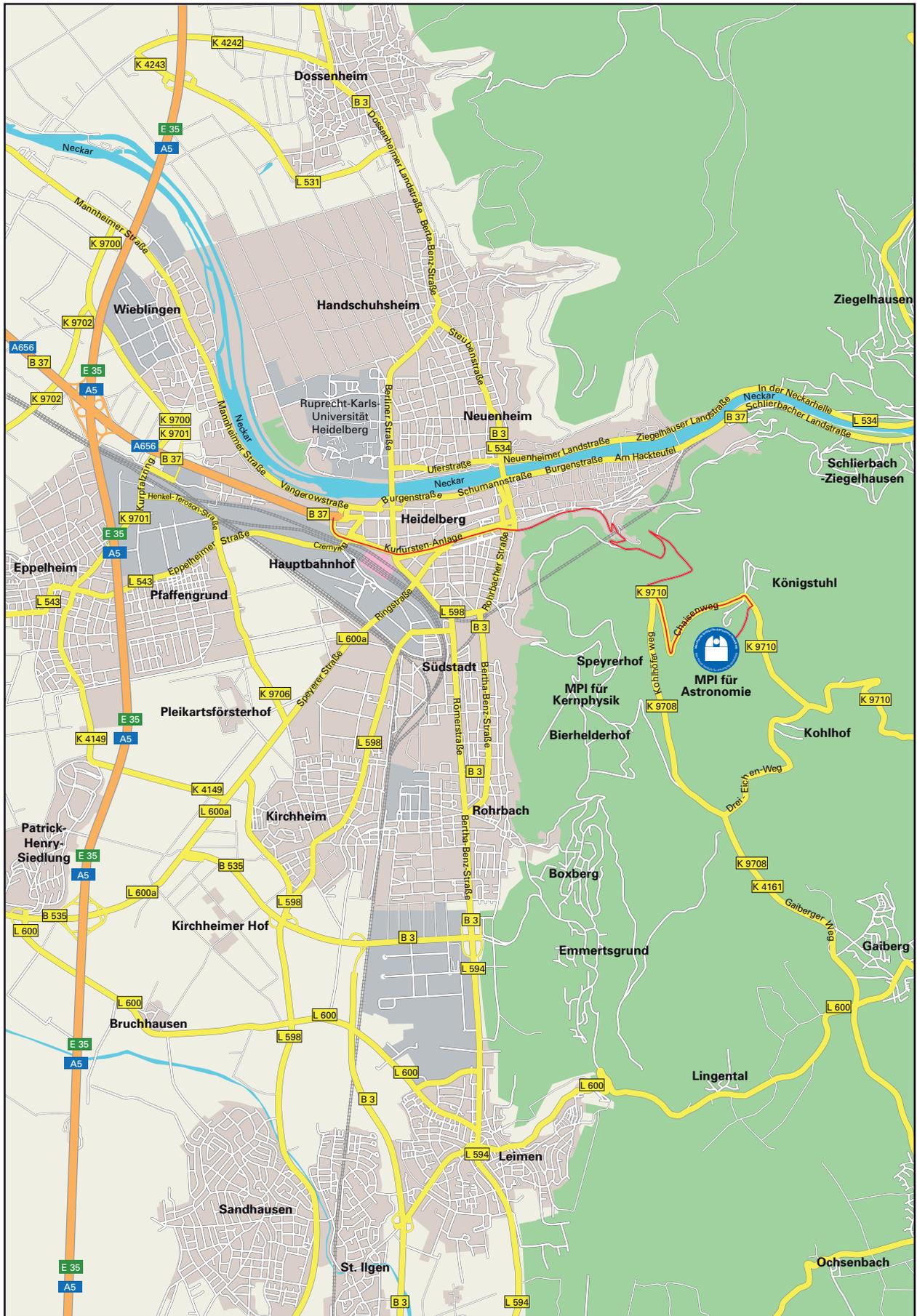
Meisenheimer, K., D. Raban, K. Tristram, M. Schartmann, W. Jaffe, H. Röttgering, L. Burtscher: Mid-infrared interferometry of Active Galactic Nuclei: an outstanding scientific success of the VLTI. The Messenger 133, 36-41 (2008)

Rix, H.-W.: Perspektiven astronomischer Entdeckungen. Sterne und Weltraum 47,8, 32-40 (2008)

Schinnerer, E.: ALMAS tiefer Blick in kosmische Kreißsäle. Spektrum der Wissenschaft 12, 28-35 (2008)

Stegmaier, J.: Ring frei – der Beginn des Teilchensturms am CERN. Sterne und Weltraum 47,11, 29-31 (2008)

van den Ancker, M., D. Fedele, M. Petr-Gotzens, P. Rafanelli: A multi-wavelength study of the 2003-2006 outburst of V1647 Orionis. The Messenger 131, 20 (2008)



# Die Max-Planck-Gesellschaft

Die Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften wurde im Jahre 1948 als gemeinnützige Forschungsorganisation in der Rechtsform eines eingetragenen Vereins gegründet und betreibt in ihren derzeit 82 Instituten und Einrichtungen erkenntnisorientierte und anwendungs offene Grundlagenforschung. Bei einem Jahresetat von rund 1,5 Milliarden Euro im Jahr 2008 beschäftigt sie rund 13 000 Mitarbeiter, von denen etwa 4700 Wissenschaftler sind. Zusätzlich forschen im Jahresverlauf rund 11 850 Nachwuchs- und Gastwissenschaftler an den Einrichtungen der Max-Planck-Gesellschaft.

Das Ziel der Max-Planck-Gesellschaft ist die Förderung von Spitzenforschung im internationalen Vergleich. Dazu werden die Forschungseinrichtungen angemessen ausgestattet und herausragend qualifizierten Forschern anvertraut. Diese genießen bei ihrer Arbeit ein hohes Maß an wissenschaftlicher Autonomie.

Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V.  
Referat für Presse- und Öffentlichkeitsarbeit  
Hofgartenstr. 8  
80539 München

Tel.: 089/2108-1275 oder -1277  
Fax: 089/2108-1207  
Internet: [www.mpg.de](http://www.mpg.de)



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT